



คู่มือการประเมินความเสี่ยง จากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ



กรมวิชาการเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
พุทธศักราช 2569
ISBN 978-616-358-751-0

คู่มือการประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ

เอกสารวิชาการ

พิมพ์ครั้งที่ 1 พุทธศักราช 2569

ISBN 978-616-358-751-0

คณะผู้จัดทำ

นายอำนาจ กะฉินเทศ

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

นายนพดล มะโนเย็น

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

นางสาวจันทิมา ผลกอง

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ที่ปรึกษา

นางมลิสรา เวชยานนท์

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

นางสาวลักขมี เดชานุรักษ์กุล

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ดร.ประชาติปต์ย์ พงษ์ภิญโญ

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ดร.พฤทธิชาติ ปุญวัฒน์โ

กองวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไชนันต์ แท่งทอง

ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ ดร.สรุ อารณ

ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชชัย ธนโชคสว่าง

ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล



คำนำ

การใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในพื้นที่เกษตรกรรม ทำให้ละอองของสารแพร่กระจายและปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะแหล่งน้ำที่เป็นแหล่งอาศัยของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในระบบนิเวศ มีความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากการใช้สารที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่สิ่งสำคัญคือต้องระบุให้ได้ว่าความเสี่ยงนั้น อยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยจะต้องทำการประเมินความเสี่ยงตามมาตรฐาน

คู่มือการประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำได้อย่างถูกต้อง มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการปกป้องและคุ้มครองสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศทางน้ำ โดยอธิบายถึงกระบวนการประเมินระดับความเสี่ยง ประกอบด้วย การประเมินการสัมผัส การประเมินความเป็นอันตราย และการประเมินความเสี่ยง การใช้แบบจำลองมาตรฐานในการคำนวณค่าความเสี่ยง รวมถึงรายละเอียดการบริหารและจัดการความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือฉบับนี้ จะเป็นแนวทางให้นักวิจัย และผู้ที่เกี่ยวข้องได้นำไปปฏิบัติและประยุกต์ใช้ตามความเหมาะสม เพื่อให้การใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชมีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ

คณะผู้จัดทำ

พฤษภาคม 2569



กิตติกรรมประกาศ

คู่มือการประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับการสนับสนุนการอบรมและการเรียนรู้ในสวนทฤษฎีและการฝึกปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญด้านการประเมินความเสี่ยงจาก CropLife Asia (CLA) และสมาคมการค้านวัตกรรมเพื่อการเกษตรไทย (Thai Agricultural Innovation Trade Association: TAITA) พร้อมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในการจัดทำรูปแบบของคู่มือ รวมถึงตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนในคู่มือ

นอกจากนี้ ได้รับความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบข้อมูลจากที่ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญศาสตราจารย์ ดร.ไชนันต์ แท่งทอง รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ อารมณ์ และผู้เชี่ยวชาญศาสตราจารย์ ดร.ชัชชัย ธนโชคสว่าง ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งทำให้คู่มือมีความถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น ขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างยิ่งในความอนุเคราะห์ที่ให้การช่วยเหลือด้วยความปรารถนาดีตลอดระยะเวลาของการจัดทำคู่มือ



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คณะผู้จัดทำ.....	i
คำนำ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	vii
สารบัญภาพ.....	viii
รายการคำย่อ.....	ix
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	1
1.2 ขอบเขต.....	2
บทที่ 2 นิยามศัพท์.....	4
2.1 สิ่งแวดล้อมทางน้ำ (Aquatic environment).....	4
2.2 ความเป็นอันตราย (Hazard).....	4
2.3 จุดสิ้นสุดของการประเมินผลทางพิษวิทยา (Ecotox Endpoint).....	4
2.3.1 ค่าความเข้มข้นครึ่งหนึ่งที่ทำให้เกิดความเป็นพิษถึงตาย (Lethal concentration 50%: LC ₅₀).....	4
2.3.2 ค่าความเข้มข้นครึ่งหนึ่งที่มีประสิทธิผล (Effective concentration 50%: EC ₅₀).....	4
2.3.3 ค่าความเข้มข้นที่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลงครึ่งหนึ่ง (Growth rate effective concentration 50%: ErC ₅₀).....	4
2.4 การรับสัมผัส (Exposure).....	5
2.4.1 การผสม (Mixing).....	5
2.4.2 การสลายตัว (Degradation).....	5
2.4.3 การดูดซับ/การปลดปล่อย (Adsorption/desorption).....	6
2.5 การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment).....	7
2.5.1 อัตราส่วนความเสี่ยง (Risk quotient: RQ).....	7
2.5.2 ปัจจัยความไม่แน่นอนของข้อมูล (Uncertainty factor: UF).....	8



สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง

หน้า

2.5.3 ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมที่คาดการณ์ในแหล่งน้ำผิวดิน (Predicted environmental concentration in surface water: PEC_{sw}).....	8
2.5.4 ค่าความเข้มข้นที่คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ (Predicted No Effect Concentration: PNEC).....	8
2.6 การตรวจสอบกลั่นกรอง (Refinement).....	8
2.7 การบรรเทาความเสี่ยงและการจัดการความเสี่ยง (Risk mitigation and management).....	9
บทที่ 3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ.....	10
3.1 การศึกษาความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Aquatic toxicity studies).....	10
3.1.1 ความเป็นพิษเฉียบพลันต่อปลา (Fish acute toxicity: LC_{50}).....	10
3.1.2 ความเป็นพิษเฉียบพลันต่อไรน้ำ (Daphnia acute toxicity: EC_{50}).....	10
3.1.3 ความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Algae growth inhibition: ErC_{50}).....	11
3.1.4 ปัจจัยความไม่แน่นอนของข้อมูล (Uncertainty factor: UF).....	11
3.1.5 ค่าความเข้มข้นที่คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ (Predicted No Effect Concentration: PNEC).....	11
3.2 การประเมินการสัมผัสในแหล่งน้ำ (Aquatic exposure assessment).....	12
3.2.1 กลไกหลักของการแพร่กระจายสารเคมีสู่แหล่งน้ำ (Main routes of aquatic exposure).....	12
3.2.2 พฤติกรรมของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในระบบนิเวศทางน้ำ (Pesticide fate in aquatic systems).....	13
3.2.2.1 การเคลื่อนที่ของละออง (Drift).....	13
3.2.2.2 การระบายน้ำ (Drainage).....	13
3.2.2.3 การไหลบ่า (Run-off).....	14
3.2.2.4 การกระจายตัวของสาร (Partitioning).....	14
3.2.3 การคำนวณค่าความเข้มข้นของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมที่คาดการณ์ในแหล่งน้ำผิวดิน (Predicted Environmental Concentration in surface water (PEC_{sw}) calculation).....	14



3.3 การประเมินความเสี่ยงต่อการสัมผัสของสิ่งมีชีวิตในน้ำ	
(Aquatic risk assessment).....	15
3.3.1 หลักการประเมินแบบลำดับขั้น (Principle of tier approach).....	15
3.3.2 การคำนวณดัชนีความเสี่ยงระดับขั้นที่ 1	
(Tier 1 risk quotient calculation).....	16
3.3.3 แบบจำลองการคาดการณ์ความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ	
(Aquatic environment modelling).....	16
3.3.4 ตัวแปรสำหรับแบบจำลอง (Modelling input).....	17
3.3.5 การใช้ MED-Rice Model.....	20
ตัวอย่าง การประเมินความเสี่ยงต่อสิ่งมีชีวิตทางน้ำ.....	23
Case Study 1: Insecticide compound A 5% W/V SC.....	26
Case Study 2: Herbicide compound B + compound C 35% + 35% W/V EC.....	29
Case Study 3: Fungicide compound D + compound E 15% + 15% W/V EC.....	34
บทที่ 4 การปรับปรุงรายละเอียดความเสี่ยง มาตรการลดและจัดการความเสี่ยง.....	39
4.1 มาตรการจำกัดการแพร่กระจายของสารสู่แหล่งน้ำผิวดินและลดผลกระทบต่อ	
สิ่งมีชีวิตในน้ำ.....	39
4.1.1 การใช้ค่าเรขาคณิต (Use of geomean values).....	39
4.1.2 การลดปัจจัยความไม่แน่นอนของข้อมูล (Reduced uncertainty factors).....	39
4.2 มาตรการลดความเสี่ยง (Risk mitigations).....	40
4.2.1 ลดอัตราการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช (Reduce the pesticide application rate)	40
4.2.2 ลดความถี่ในการใช้ หรือเพิ่มระยะเวลาระหว่างการใช้แต่ละครั้ง	
(Reduce frequency of use or increase interval between applications)	40
4.2.3 ลดการฟุ้งกระจายและการไหลบ่าด้วยการปรับความเหมาะสมต่อการใช้งาน	
(Reduce drift and runoff via application optimization).....	40
4.3 การจัดการความเสี่ยง (Risk management).....	41
บทที่ 5 คำเตือน.....	42
เอกสารอ้างอิง.....	43



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่า Endpoint และระยะเวลาที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงทางน้ำ.....	16
ตารางที่ 3.2 แบบจำลองน้ำผิวดินในนาข้าว.....	17
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในนาข้าว.....	23
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของพื้นที่นาข้าว.....	24



สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
ภาพที่ 2.1 การหาค่าครึ่งชีวิต (Degradation time 50%: DT_{50}) ของสาร.....	6
ภาพที่ 3.1 พฤติกรรมของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในระบบนิเวศทางน้ำ.....	13
ภาพที่ 3.2 ผลการประเมินความเสี่ยงการใช้ insecticide compound A 5% W/V SC ในนาข้าวต่อ สิ่งแวดล้อมในน้ำด้วย MED-Rice tool อยู่ในระดับยอมรับได้.....	28
ภาพที่ 3.3 ผลการประเมินความเสี่ยงการใช้ herbicide compound B 35% W/V EC ในนาข้าวต่อ สิ่งแวดล้อมทางน้ำด้วย MED-Rice tool อยู่ในระดับยอมรับได้.....	31
ภาพที่ 3.4 ผลการประเมินความเสี่ยงการใช้ herbicide compound C 35% W/V EC ในนาข้าวต่อ สิ่งแวดล้อมทางน้ำด้วย MED-Rice tool อยู่ในระดับยอมรับได้.....	33
ภาพที่ 3.5 ผลการประเมินความเสี่ยงการใช้ fungicide compound D 15% W/V EC ในนาข้าวต่อ สิ่งแวดล้อมทางน้ำด้วย MED-Rice tool อยู่ในระดับยอมรับได้.....	36
ภาพที่ 3.6 ผลการประเมินความเสี่ยงการใช้ fungicide compound E 15% W/V EC ในนาข้าวต่อ สิ่งแวดล้อมทางน้ำด้วย MED-Rice tool อยู่ในระดับยอมรับได้.....	38
ภาพที่ 5.1 เป็นอันตรายต่อปลา.....	42



รายการคำย่อ

BD_{Sediment}	Bulk density of the sediment (kg/dm^3)
$BD_{\text{PaddySoil}}$	Bulk density of the paddy soil (kg/dm^3)
C_s	Concentration of active substance in the solid phase of a bi-phasic system at equilibrium ($\mu\text{g/kg}$)
C_w	Concentration of active substance in the water phase of a bi-phasic system at equilibrium ($\mu\text{g/L}$)
$\text{depth}_{\text{SurfaceWaterBody}}$	Depth of water in the surface water body, e.g., drainage canal (m)
$\text{depth}_{\text{Sediment}}$	Depth of sediment layer considered for partitioning between water and sediment (m)
$\text{depth}_{\text{PaddySoil}}$	Depth of soil layer considered for partitioning between water and soil (m)
$\text{depth}_{\text{PaddyWater}}$	Depth of water in the paddy rice field (m)
Dose	Application rate of the active substance (g/ha)
$DT_{50\text{PaddyWater}}$	Degradation or dissipation half-life (days) in water of paddy field
$DT_{50\text{SurfaceWater}}$	Degradation or dissipation half-life (days) in water of receiving canal
$\text{fact}_{\text{dilution}}$	Dilution factor of paddy water reaching adjacent surface water: 10
f_{dep}	Fraction of the dose deposited on the paddy water (i.e. 1 - intercept)
$F_{\text{dissolved}}$	Dissolved mass fraction
f_{drift}	Fraction drift to adjacent surface water
$f_{\text{interception}}$	Fraction of the dose intercepted by the rice crop
$F_{\text{sorbedSediment}}$	Sorbed mass fraction to sediment
$F_{\text{sorbedPaddySoil}}$	Sorbed mass fraction to paddy soil
$Kd_{\text{PaddySoil}}$	Linear sorption coefficient (dm^3/kg) for paddy soil
Kd_{Sediment}	Linear sorption coefficient (dm^3/kg) for sediment
K_{OC}	Sorption coefficient normalized to organic carbon content (dm^3/kg)
K_{OM}	Sorption coefficient normalized to organic matter content (dm^3/kg)
M_s	Mass in sediment phase of the water/sediment system



รายการคำย่อ (ต่อ)

M _T	Total mass in the water/sediment system Calculated
M _w	Mass in water phase of the water/sediment system
Num Appl	Total number of applications
OC	Organic carbon content (%) Scenario definition
OM	Organic matter content (%) Scenario definition
PEC	Predicted environmental concentration (µg/L)
PNEC	Predicted No Effect Concentration (mg/L)
t	Time (days)
T _{close}	Closure time during which water is held in the field following application of the active substance; 5 days
T	Time (days) after T _{close}



บทที่ 1 บทนำ

การใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรเพื่อป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช วัชพืช และโรคพืชในพื้นที่เกษตรกรรม ละอองของสารจะแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมบริเวณรอบ ๆ โดยการฟุ้งกระจายของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมและคุณสมบัติเฉพาะของสารแต่ละชนิด ซึ่งส่งผลให้เกิดความเข้มข้นที่แตกต่างกันในบริเวณรอบตัวของสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น น้ำในแปลงเกษตรกรรมและแหล่งน้ำโดยรอบ เป็นต้น

ข้าว เป็นพืชเศรษฐกิจหลักและมีการเพาะปลูกอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ภายใต้รูปแบบการจัดการน้ำและการเพาะปลูกในนาข้าว น้ำที่มีการปนเปื้อนสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอาจถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบในหลายช่วงของการเพาะปลูก ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศทางน้ำที่อยู่ใกล้เคียงกับแปลงนา ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการประเมินความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสสารของระบบนิเวศทางน้ำ

การประเมินความเสี่ยงจากสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำนายผลกระทบของสารตกค้างในภาพที่เป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจว่าจะเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับใด นำไปสู่การจัดการที่เหมาะสมในระดับนโยบาย เช่น มาตรการเข้มงวดให้มีการใช้สารตามอัตราในฉลาก การกำหนดความถี่ของการใช้สารต่อฤดูปลูกพืชของเกษตรกร และการให้ข้อมูลการเว้นระยะเวลาที่ปลอดภัยในการกลับเข้าสู่แปลงปลูกพืช (re-entry entering) ทั้งนี้ เพื่อเป็นการลดความเสี่ยงและความเป็นอันตรายจากการใช้สารเคมีในภาคการเกษตรที่อาจเกิดผลกระทบอย่างร้ายแรงต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งช่วยลดความเสี่ยงและป้องกันไม่ให้เกิดความสูญเสียทางสังคมและเศรษฐกิจ ได้แก่ ปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในห่วงโซ่อาหาร

ข้อมูลที่เป็นสำหรับการประเมินความเสี่ยงสามารถค้นคว้าได้จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ รวมถึงงานวิจัยทางวิชาการที่ดำเนินการภายใต้มาตรฐานระบบการปฏิบัติที่ดีในห้องปฏิบัติการ (Good Laboratory Practice: GLP) หรือมาตรฐานที่เทียบเท่ากับ GLP การเผยแพร่ทางอิเล็กทรอนิกส์ และข้อมูลจากองค์กรต่าง ๆ เช่น สำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency: U.S. EPA) และสำนักงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งยุโรป (European Food Safety Authority: EFSA) รวมถึงข้อมูลและฉลากที่จัดทำโดยผู้จดทะเบียนสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช แหล่งข้อมูลเหล่านี้ ช่วยทำให้มีการจัดหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอันตรายของสารอย่างมีประสิทธิภาพ

การประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช (risk assessment) คือ กระบวนการที่นำองค์ความรู้ทางพิษวิทยามาประเมินหาโอกาสที่จะเกิดขึ้นและความรุนแรงของผลอันไม่พึงประสงค์ (adverse effect) ที่จะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตจากการได้รับสารพิษ โดยผลของการประเมินความเสี่ยงจะใช้เป็นข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจและลดความอันตรายให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย

1.1 วัตถุประสงค์

คู่มือการประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ โดยสามารถประเมินระดับความเสี่ยงต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม อันเนื่องมาจากการปน



สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในพืชที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำธรรมชาติ คู่มือนี้จะช่วยให้ผู้ที่นำไปใช้ ทราบถึงการบ่งชี้และการได้มาของข้อมูลที่สำคัญสำหรับใช้ประเมินความเป็นอันตราย การประเมินหรือวิเคราะห์ความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งช่วยให้นักวิจัยและผู้จัดการความเสี่ยงเข้าใจความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถดำเนินกลยุทธ์การจัดการความเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 ขอบเขต

คู่มือฉบับนี้ อธิบายถึงหลักการและวิธีการประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำและระบุถึงการใช้สารเหล่านั้นว่าเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อมหรือไม่ นอกจากนี้ยังได้รวบรวมเอกสารอ้างอิง ประกอบด้วยแหล่งข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์บนอินเทอร์เน็ตที่เกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงไว้อย่างครบถ้วน

จุดมุ่งหมายหลักของคู่มือฉบับนี้คือ การประเมินความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ได้แก่ ปลา ไรน้ำ และสาหร่าย ซึ่งเป็นตัวแทนของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศโดยใช้แบบจำลองความเสี่ยง ช่วยให้สามารถประมาณระดับความเข้มข้นของสาร การระบุลักษณะของความเสี่ยง การจัดการความเสี่ยง และการสื่อสารความเสี่ยง โดยคู่มือได้ระบุถึงข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

- หลักการและวิธีการเพื่อใช้ประเมินความเสี่ยงด้านสารเคมีทางการเกษตร
- ข้อมูลที่ต้องรวบรวมและนำไปสู่การประเมินความเสี่ยงที่ครบถ้วนสมบูรณ์
- แบบจำลองสภาพแวดล้อมช่วยให้สามารถประมาณระดับความเสี่ยงได้
- เอกสารอ้างอิง รวมถึงที่อยู่ของไฟล์หรือเว็บไซต์บนอินเทอร์เน็ต (URLs)

คู่มือฉบับนี้ ได้เสนอวิธีการประเมินความเสี่ยงที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลและกรณีศึกษาต่าง ๆ เพื่อแสดงการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ ยังนำเสนอแหล่งข้อมูลที่สามารถใช้อ้างอิงได้ โดยใช้ข้อมูลจากงานวิจัยทางวิชาการ รายงานจากหน่วยงานภาครัฐ และข้อมูลในระดับชุมชนที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในแหล่งเกษตรกรรมแต่ละพื้นที่ โดยเน้นไปที่การประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ นอกจากนี้ ยังกล่าวถึงแบบจำลองสถานการณ์ที่สามารถอธิบายได้ด้วยการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่มีอยู่ เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การประเมินความเป็นอันตรายของกรอบการประเมินความเสี่ยงขึ้นอยู่กับข้อมูลความเป็นพิษที่ได้จากการศึกษาในสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการหรือจากการศึกษาด้านสิ่งมีชีวิตทางน้ำที่ดำเนินการภายใต้มาตรฐาน GLP หรือมาตรฐานที่เทียบเท่า GLP สามารถหาข้อมูลเหล่านี้จากการทบทวนวรรณกรรมทางด้านวิทยาศาสตร์และเอกสารตีพิมพ์เผยแพร่จากองค์กรระหว่างประเทศที่มีความน่าเชื่อถือ รวมถึงการศึกษาความเป็นพิษที่บริษัทผู้ผลิตสารเคมีหรือสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้ยื่นต่อหน่วยงานกำกับดูแล ได้แก่

- สำนักงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งยุโรป (EFSA)
- สำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA)



- ประชุมร่วมขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติและองค์การอนามัยโลก (Food and Agriculture Organization and World Health Organization: FAO/WHO) ในเรื่องสารพิษตกค้าง (Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues: JMPR)

คู่มือฉบับนี้ แบ่งออกเป็นส่วนตัวต่าง ๆ เพื่อความสะดวกในการใช้งานและความเข้าใจ ดังนี้

- บทที่ 1 บทนำเป็นการกล่าวถึงวัตถุประสงค์และขอบเขตของเนื้อหา
- บทที่ 2 คำอธิบายนิยามศัพท์เกี่ยวกับข้อมูลที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยง
- บทที่ 3 อธิบายรายละเอียดวิธีการและขั้นตอนการดำเนินการของคู่มือฉบับนี้ และตัวอย่างกรณีศึกษาที่แสดงให้เห็นถึงวิธีการที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยง
- บทที่ 4 การปรับปรุงรายละเอียดความเสี่ยง มาตรการลดและจัดการความเสี่ยง
- บทที่ 5 คำเตือน
- เอกสารอ้างอิง ซึ่งประกอบด้วยที่อยู่ของไฟล์หรือเว็บไซต์บนอินเทอร์เน็ต (URLs) ที่เป็นแหล่งของข้อมูลเกือบทั้งหมด

คู่มือฉบับนี้ นำเสนอข้อมูลเชิงปฏิบัติการในการใช้ประเมินความเสี่ยง ซึ่งช่วยเพิ่มศักยภาพให้กับผู้ปฏิบัติงานและผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ช่วยยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยและลดความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ



บทที่ 2 นิยามศัพท์

2.1 สิ่งแวดล้อมทางน้ำ (Aquatic environment) หมายถึง พื้นที่หรือระบบนิเวศที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก อาจเป็นน้ำจืดหรือน้ำเค็ม และครอบคลุมถึงแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ ทะเลสาบ ทะเล และมหาสมุทร รวมถึงแหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น อ่างเก็บน้ำหรือคลองชลประทาน พื้นที่เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการหล่อเลี้ยงสิ่งมีชีวิตในน้ำ การควบคุมสมดุลทางนิเวศวิทยา และการไหลเวียนของสารต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อม ในคู่มือฉบับนี้ หมายถึง ระบบนิเวศที่อยู่ในน้ำ ซึ่งประกอบด้วย ปลา ไรน้ำ และสาหร่าย

2.2 ความเป็นอันตราย (Hazard) หมายถึง ศักยภาพของสารเคมีหรือสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ สิ่งมีชีวิต หรือสิ่งแวดล้อม ในบริบทของการประเมินความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ความเป็นอันตรายจะถูกรวบรวมเป็นค่าอ้างอิงมาตรฐานที่สอดคล้องกัน เช่น ค่าความเข้มข้นที่คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ (PNEC) เพื่อใช้ในแบบจำลอง (Model) การประเมินความเสี่ยง

2.3 จุดสิ้นสุดของการประเมินผลทางพิษวิทยา (Ecotox Endpoint) หมายถึง ดัชนีชี้วัดทางชีวภาพที่สามารถวัดได้ ใช้ประเมินผลกระทบของสารเคมีที่มีต่อสิ่งมีชีวิต ส่วนใหญ่เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น อัตราการตาย (ค่า LD_{50} หรือ LC_{50}) ผลกระทบต่อการสืบพันธุ์ การกลายพันธุ์ หรือความเป็นพิษเรื้อรัง เป็นต้น

ในการประเมินความเสี่ยงจากสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ข้อมูล ecotox endpoint เหล่านี้จะถูกนำมาใช้ร่วมกับข้อมูลการรับสัมผัส (Exposure) เพื่อคำนวณระดับความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งในคู่มือนี้จะหมายถึง อัตราการตาย อัตราการเคลื่อนที่ และอัตราการเจริญเติบโต ได้แก่ ค่า LC_{50} , EC_{50} และ ErC_{50}

2.3.1 ค่าความเข้มข้นครั้งหนึ่งที่ทำให้เกิดความเป็นพิษถึงตาย (Lethal concentration 50%: LC_{50}) หมายถึง ความเข้มข้นของสารในน้ำที่ทำให้สิ่งมีชีวิตทดลองตายร้อยละ 50 ภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยมักใช้ในการประเมินความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (acute toxicity) ในสัตว์น้ำ เช่น ปลา หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) หรือ ไมโครกรัมต่อลิตร (μ g/L)

2.3.2 ค่าความเข้มข้นครั้งหนึ่งที่มีประสิทธิผล (Effective concentration 50%: EC_{50}) หมายถึง ความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบ (เช่น ยับยั้งการเคลื่อนไหว หรือการเจริญเติบโต) ต่อสิ่งมีชีวิตร้อยละ 50 โดยไม่จำเป็นต้องทำให้ตาย แต่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของร่างกายหรือระบบชีวภาพ หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) หรือ ไมโครกรัมต่อลิตร (μ g/L)

2.3.3 ค่าความเข้มข้นที่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลงครั้งหนึ่ง (Growth rate effective concentration 50%: ErC_{50}) หมายถึง ความเข้มข้นของสารเคมีที่ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโต (growth rate) ของสิ่งมีชีวิต เช่น สาหร่ายหรือพืชน้ำ ลดลงร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม เป็นค่า ecotox endpoint สำคัญในการประเมินความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในระดับล่างของห่วงโซ่อาหาร เช่น แพลงก์ตอนพืช หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) หรือ ไมโครกรัมต่อลิตร (μ g/L)



2.4 การรับสัมผัส (Exposure) หมายถึง กระบวนการหรือภาวะที่สิ่งมีชีวิต เช่น มนุษย์ สัตว์ หรือพืช อยู่ภายใต้การสัมผัสหรือได้รับผลกระทบจากสารเคมีหรือปัจจัยอันตรายอื่น ๆ ไม่ว่าจะโดยทางการหายใจ การกิน การสัมผัสทางผิวหนัง หรือผ่านสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ ดิน หรืออากาศ ในบริบทของคู่มือฉบับนี้ การรับสัมผัส สารเคมีจะเกี่ยวข้องเฉพาะกับสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสารเคมีที่ใช้ในกิจกรรมทางการเกษตรกับสิ่งมีชีวิตในแปลงนาข้าว ได้แก่ ปลา ไร่น้ำ และสาหร่าย โดยผ่านกระบวนการผสม การสลายตัว และการดูดซับ/การปลดปล่อย ซึ่งเป็นกระบวนการหลักที่ใช้ในการประเมินพฤติกรรมของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม และการประมาณค่าความเข้มข้นของการรับสัมผัสในสิ่งแวดล้อม

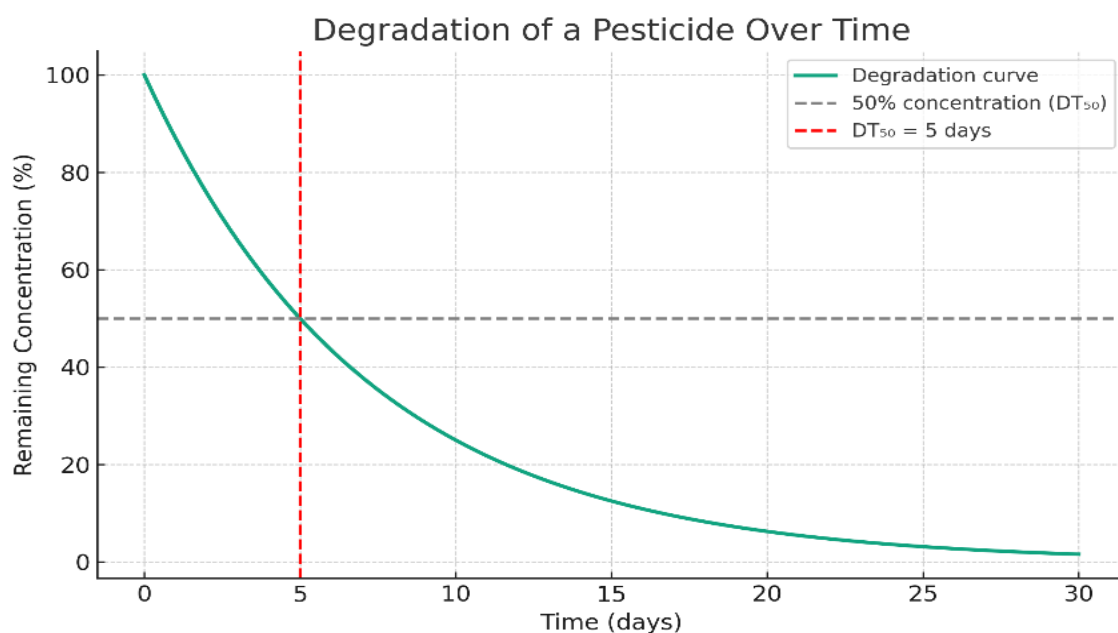
2.4.1 การผสม (Mixing) หมายถึง กระบวนการที่สารหนึ่ง (เช่น สารเคมี สารละลาย หรือสารมลพิษ) ถูกกระจาย หรือแพร่กระจายเข้าสู่ช่องไหล หรือของแข็งอื่น ๆ อย่างต่อเนื่องหรือเป็นช่วงเวลา อาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือจากกิจกรรมของมนุษย์ ในคู่มือฉบับนี้หมายถึง การที่สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ผสมในน้ำ ในแปลงนาข้าว

2.4.2 การสลายตัว (Degradation) หมายถึง กระบวนการที่สารเคมีหรือสารประกอบถูกเปลี่ยนแปลง หรือแตกตัวให้มีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างจากเดิม โดยอาจเกิดจากกระบวนการทางกายภาพ เคมี หรือชีวภาพ เช่น การสลายโดยจุลินทรีย์ การสลายด้วยแสงอาทิตย์ หรือการสลายด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันในดินหรือน้ำ หรือปฏิกิริยาอื่น ๆ ในคู่มือฉบับนี้หมายถึง การที่สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่เกิดการสลายตัวในนาข้าว โดยการสลายตัวของสารจะถูกระบุในรูปของ “ระยะเวลาที่สารลดลงเหลือปริมาณครึ่งหนึ่ง (Degradation Time 50%: DT_{50})”

ระยะเวลาที่สารลดลงเหลือปริมาณครึ่งหนึ่ง (DT_{50}) หมายถึง ระยะเวลาที่สารเคมีสลายตัวเหลือปริมาณครึ่งหนึ่งของค่าเริ่มต้นภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด สามารถใช้เป็นดัชนีในการประเมินความคงตัวของสารในสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปค่าดังกล่าวได้มาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ หรือการจำลองสภาวะแวดล้อมจริง เช่น ในดิน น้ำ หรือระบบนิเวศในนาข้าว ทั้งนี้ ค่า DT_{50} ของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในนาข้าวมีความสำคัญต่อการคาดการณ์การตกค้าง และการประเมินความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ

การหาค่า DT_{50} จะใช้วิธีการศึกษาอัตราการสลายตัว โดยเริ่มจากความเข้มข้นของสาร 100% บันทึกข้อมูลความเข้มข้นของสารที่ลดลงตามช่วงเวลา นำไป plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสาร (หน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์) และเวลา (หน่วยเป็น วัน) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 เส้นโค้งแสดงลักษณะการลดลงของปริมาณสารเคมีตามระยะเวลา โดยใช้ค่าเริ่มต้นที่ 100% และมีอัตราการสลายตัวตามสมมุติฐานที่ค่า DT_{50} เท่ากับ 5 วัน จะเห็นได้ว่า ปริมาณสารลดลงอย่างต่อเนื่อง และถึงจุดครึ่งหนึ่ง (50%) เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 5 วัน โดยกราฟความสัมพันธ์ของการสลายตัว (degradation curve) โดยทั่วไปมักคำนวณด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เฉพาะทาง เช่น CAKE หรือ KinGUI





ภาพที่ 2.1 การหาค่าครึ่งชีวิต (Degradation Time 50%: DT_{50}) ของสาร

2.4.3 การดูดซับ/การปลดปล่อย (Adsorption/desorption) มีประโยชน์อย่างยิ่งในการสร้างข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นเกี่ยวกับความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารเคมี และการแพร่กระจายตัวในดิน น้ำ และอากาศ สามารถนำไปใช้ประเมินปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความพร้อมของสารเคมีต่อกระบวนการสลายตัว การเปลี่ยนรูป และการรับสารเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิต รวมถึงการชะล้างผ่านชั้นดิน การระเหยจากผิวดิน และการไหลบ่าจากผิวดินสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ นอกจากนี้ ยังสามารถใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติของสารและการสร้างแบบจำลองสถานการณ์สำหรับการประเมินความเสี่ยง

การกระจายตัวของสารเคมีระหว่างดินและของเหลวเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่หลากหลาย ได้แก่ คุณสมบัติทางเคมีของสาร ลักษณะเฉพาะของดิน และปัจจัยทางภูมิอากาศ เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ แสงแดด และลม เป็นต้น ดังนั้น ปรากฏการณ์และกลไกมากมายที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับสารเคมีโดยดิน จึงไม่สามารถระบุได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ผ่านแบบจำลองในห้องปฏิบัติการที่ถูกทำให้อยู่ในรูปแบบที่ง่าย ดังแสดงในคู่มือฉบับนี้ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะยังไม่สามารถครอบคลุมทุกกรณีที่เป็นไปได้ในสิ่งแวดล้อม แต่ข้อมูลที่ได้ก็ถือเป็นข้อมูลที่มีคุณค่าอย่างยิ่งในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของสารเคมีและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม



2.5 การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment)

2.5.1 อัตราส่วนความเสี่ยง (Risk quotient: RQ) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างระดับการได้รับสัมผัสของสิ่งมีชีวิตต่อสารเคมี (exposure) กับค่าความเข้มข้นที่คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ (PNEC) โดยคำนวณจากสูตร ดังนี้

$$RQ = \frac{Exposure}{Effect \div Uncertainty Factor}$$

โดยที่:

- Exposure คือ ค่าความเข้มข้นของการได้รับสัมผัส
- Effect คือ จุดสิ้นสุดของการประเมินผลที่มาจากการทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (Endpoint from acute toxicity test)
- Uncertainty Factor คือ ปัจจัยความไม่แน่นอนของข้อมูล

ในคู่มือฉบับนี้จะกล่าวถึงการประเมินความเสี่ยงในระบบนิเวศในนาข้าว ดังนั้น “ค่าอัตราส่วนความเสี่ยง” จะหมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มข้นของสารเคมีที่คาดว่าจะพบในสิ่งแวดล้อม (Predicted environmental concentration: PEC) กับค่าชี้วัดความเป็นพิษ เช่น LC_{50} , EC_{50} หรือ ErC_{50} ซึ่งใช้เพื่อประเมินระดับความเสี่ยงของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศของนาข้าว โดยจะใช้สูตรคำนวณ ดังนี้

$$RQ = \frac{PEC_{sw}}{PNEC}$$

โดยที่:

- PEC_{sw} คือ ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมที่คาดการณ์ไว้ในแหล่งน้ำผิวดิน
- PNEC คือ ค่าความเข้มข้นที่คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ

โดยหากอ้างอิงจากค่า RQ สามารถประเมินค่าความเสี่ยงได้ดังนี้

- $RQ \leq 1$ แสดงว่า ความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (Acceptable risk)
- $RQ > 1$ แสดงว่า มีความเสี่ยง (Unacceptable risk) จำเป็นต้องมีการตรวจสอบกลั่นกรองปรับปรุงข้อมูล (refinement) การบรรเทาและการจัดการความเสี่ยง (risk mitigation and management) เพื่อลดความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้



2.5.2 ปัจจัยความไม่แน่นอนของข้อมูล (Uncertainty factor: UF) หมายถึง ค่าตัวเลขที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยง เพื่อลดความไม่แน่นอนจากการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในสัตว์หรือมนุษย์กลุ่มเล็กที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการหรือระบบจำกัด เพื่อคาดการณ์ผลกระทบในระบบนิเวศจริง ค่า UF จะช่วยลดความเสี่ยงโดยการปรับค่าขีดจำกัดความปลอดภัยให้ครอบคลุมความแตกต่างของชนิดสิ่งมีชีวิต การตอบสนองที่หลากหลาย และความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล

การใช้ UF ในการประเมินความเสี่ยงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำมีบทบาทสำคัญในการกำหนดค่า PNEC ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของสารที่คาดว่าจะไม่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยในคู่มือฉบับนี้ จะใช้ค่า UF เท่ากับ 10 สำหรับปลาและไรน้ำ และ UF เท่ากับ 1 สำหรับสาหร่าย

2.5.3 ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมที่คาดการณ์ในแหล่งน้ำผิวดิน (Predicted environmental concentration in surface water: PEC_{sw}) หมายถึง ค่าความเข้มข้นที่ประเมินได้จากการจำลองหรือการวิเคราะห์ข้อมูลที่แสดงถึงระดับสารเคมีที่คาดว่าจะตรวจพบในน้ำผิวดิน เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หรือทะเลสาบ หลังจากปล่อยสารนั้นลงสู่สิ่งแวดล้อม ค่าดังกล่าวใช้เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และช่วยกำหนดมาตรการป้องกันผลกระทบจากสารเคมีในระบบนิเวศน้ำผิวดิน ในคู่มือฉบับนี้ หมายถึงค่าความเข้มข้นของสารเคมีที่คาดว่าจะพบในน้ำผิวดินใกล้เคียงหรือบริเวณรอบ ๆ นาข้าว หลังจากมีการใช้สารป้องกันศัตรูพืชในการเพาะปลูก ซึ่งค่าดังกล่าวจะประเมินจากการจำลองหรือข้อมูลการใช้งานจริง เพื่อใช้ประเมินความเสี่ยงและผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศน้ำผิวดินบริเวณนั้น

2.5.4 ค่าความเข้มข้นที่คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ (Predicted No Effect Concentration: PNEC) หมายถึง ค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตหรือระบบนิเวศใด ๆ โดยคำนวณจากข้อมูลทางพิษวิทยาและข้อมูลความเป็นพิษที่มีต่อสิ่งมีชีวิตหลากหลายชนิด พร้อมทั้งนำมาปรับค่าด้วยปัจจัยความไม่แน่นอน (UF) เพื่อให้ครอบคลุมความแตกต่างของข้อมูลและลักษณะเฉพาะของสิ่งแวดล้อม ค่าดังกล่าวใช้เป็นเกณฑ์สำคัญในการประเมินความเสี่ยงและกำหนดมาตรการควบคุมสารเคมีในสิ่งแวดล้อม

2.6 การตรวจสอบกลับกรอง (Refinement) หมายถึง กระบวนการปรับปรุงการประเมินความเสี่ยง โดยใช้ข้อมูลหรือพารามิเตอร์ที่แสดงถึงสถานการณ์การใช้งานจริง แนวทางนี้จะนำไปสู่การประมาณค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น ได้แก่ การใช้ข้อมูลการดูดซับในตะกอนที่ได้จากการศึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์นั้นหรือผลิตภัณฑ์ที่คล้ายกัน หรือการเลือกผลการศึกษาความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตชนิดเพิ่มเติม การปรับปรุงสามารถช่วยเพิ่มความแม่นยำในการประเมินความเสี่ยงได้ เช่น การใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของจุดสิ้นสุดจากการศึกษาหลายรายการ แทนการใช้ค่าจุดสิ้นสุดที่ต่ำที่สุดหรือค่าที่นิยมใช้มากที่สุด หรือการลดค่าปัจจัยความไม่แน่นอนลงเหลือ 3 จากเดิมที่ใช้ 10 เมื่อมีข้อมูลเพียงพอ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม กระบวนการนี้ไม่สามารถยืนยันได้ทุกครั้งว่า การประเมินความเสี่ยงนั้นจะ "ผ่าน" (ความเสี่ยงจะอยู่ในระดับที่ยอมรับได้และปลอดภัย)



2.7 การบรรเทาความเสี่ยงและการจัดการความเสี่ยง (Risk mitigation and management) หมายถึง การผสมผสานระหว่างเทคนิคและกลยุทธ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการลดระดับความเสี่ยงจนถึงระดับที่สามารถยอมรับได้ ในคู่มือฉบับนี้ การบรรเทาความเสี่ยง หมายถึง การดำเนินการที่มุ่งเน้นเพื่อลดความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ เช่น การลดอัตราการใช้สาร การลดความถี่ในการใช้ หรือการเพิ่มระยะห่างระหว่างการใช้แต่ละครั้ง โดยยังคง ประสิทธิภาพในการควบคุมศัตรูพืช รวมถึงการลดการฟุ้งกระจาย (drift) และการไหลบ่า (run-off) ให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน (รายละเอียดในบทที่ 4)



บทที่ 3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการ

องค์การเพื่อความร่วมมือและการพัฒนาทางเศรษฐกิจ (OECD) และสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) ได้เสนอวิธีและขั้นตอนในการประเมินความเสี่ยง ดังนี้

3.1 การศึกษาความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Aquatic toxicity studies)

การศึกษาความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำเป็นการประเมินผลกระทบจากการใช้สารเคมีหรือสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศนั้น ๆ ในที่นี้จะเจาะจงไปที่น้ำจืด ซึ่งสิ่งมีชีวิตดังกล่าว ได้แก่ ปลา ไรน้ำ และสาหร่าย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาระดับความเป็นพิษ และความไวของสารต่อสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด

การศึกษาความเป็นพิษ ส่วนใหญ่ดำเนินการภายในห้องปฏิบัติการที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ และจะทำการวัดค่าความเข้มข้นของสารที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต โดยในบริบทของคู่มือฉบับนี้ ได้แก้ค่าความเข้มข้นครั้งหนึ่งที่ทำให้เกิดความเป็นพิษถึงตายในปลา (LC_{50}) ค่าความเข้มข้นของสารที่ยับยั้งการเคลื่อนไหวของไรน้ำ (EC_{50}) และค่าความเข้มข้นที่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลงครึ่งหนึ่งของสาหร่าย (ErC_{50})

หลังจากได้ข้อมูลค่าความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้ง 3 ชนิด จะนำไปคำนวณค่า PNEC โดยใช้ค่า UF เพื่อให้ได้ผลการคาดการณ์ที่ใกล้เคียงหรือครอบคลุมกับความเป็นจริงมากขึ้น

3.1.1 ความเป็นพิษเฉียบพลันต่อปลา (Fish acute toxicity: LC_{50})

การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันต่อปลาเป็นการทดสอบหาความเข้มข้นของสารเคมีที่ทำให้ปลาเกิดอาการเป็นพิษหรือตายร้อยละ 50 ภายในระยะเวลาสั้น ๆ (โดยทั่วไปคือ 96 ชั่วโมง) หลังจากสัมผัสกับสารเคมีโดยตรง ซึ่งเป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยทั่วไปจะอ้างอิงแนวทางการทดสอบตามมาตรฐานที่จัดทำโดย OECD มาตรฐานที่ใช้ ได้แก่ OECD TG 203 (Fish acute toxicity testing) หรือแนวทาง OPPTS 850.1075 ที่เทียบเท่ากัน ซึ่งภายใต้มาตรฐานนี้จะแนะนำพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันต่อปลา เช่น การเลือกสายพันธุ์ปลา การออกแบบการทดสอบ เกณฑ์ความถูกต้องของการทดสอบ และการสรุปผลการทดสอบ เป็นต้น

3.1.2 ความเป็นพิษเฉียบพลันต่อไรน้ำ (Daphnia acute toxicity: EC_{50})

การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันต่อไรน้ำเป็นการทดสอบหาความเข้มข้นของสารเคมีที่ทำให้ไรน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งตอนขนาดเล็กที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำจืดเกิดอาการผิดปกติ เช่น ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ร้อยละ 50 การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันต่อไรน้ำ จะอ้างอิงจาก OECD เช่นเดียวกับการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันในปลา โดยมาตรฐานที่ใช้ ได้แก่ OECD TG 202 (*Daphnia* sp., Acute Immobilization Test) หรือแนวทาง OPPTS 850.1010 ที่เทียบเท่า โดยระบุเงื่อนไขในการทดสอบอย่างชัดเจน เช่น ช่วงเวลาการทดลอง (duration) ความเข้มข้นของสารทดสอบ การใช้และการเจือจางน้ำ (holding and dilution water) และเกณฑ์ความถูกต้องของผลการทดลอง เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้เปรียบเทียบในระดับสากลได้



3.1.3 ความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Algae growth inhibition: ErC₅₀)

การศึกษาความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเป็นการทดสอบหาความเข้มข้นของสารที่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลงร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยทั่วไปนิยมใช้สาหร่ายสีเขียว (*Pseudokirchneriella subcapitata* หรือ *Desmodesmus subspicatus* หรือสาหร่ายน้ำจืดสายพันธุ์อื่น ๆ) เป็นสิ่งมีชีวิตต้นแบบในการทดสอบ มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบมักจะอ้างอิงเช่นเดียวกับการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันในปลาและไรน้ำ คือ มาตรฐานของ OECD ได้แก่ OECD TG 201 (Freshwater Algae and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test) หรือแนวทาง OPPTS 850.5400 ที่เทียบเท่ากัน แม้ว่าระยะเวลามาตรฐานในการทดสอบจะกำหนดไว้ที่ 72 ชั่วโมง แต่สามารถใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่า (อย่างน้อย 48 ชั่วโมง) หรือยาวกว่าได้ หากเป็นไปตามเกณฑ์ความสมบูรณ์ของการทดสอบ ซึ่งกำหนดรายละเอียดต่าง ๆ เช่น การเตรียมอุปกรณ์ทดลอง (apparatus) การควบคุมสภาวะแวดล้อม (environment) รวมถึงเกณฑ์ความถูกต้อง (validity criteria) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้เปรียบเทียบในระดับสากลได้เช่นเดียวกับการศึกษาในปลาและไรน้ำ

ค่า LC₅₀, EC₅₀ และ ErC₅₀ หากไม่สามารถดำเนินการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการได้จากปัจจัยใดก็ตาม สามารถสืบค้นข้อมูลจากหน่วยงานหรือองค์กรสากลที่มีการเผยแพร่ค่าดังกล่าวในเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ (internet) โดยหน่วยงานที่มีข้อมูลดังกล่าว ได้แก่ EFSA, U.S. EPA หรือจากหน่วยงานและแหล่งข้อมูลอื่น ๆ

3.1.4 ปัจจัยความไม่แน่นอนของข้อมูล (Uncertainty: UF)

ค่า UF นั้นจะถูกนำมาใช้เพื่อให้มั่นใจว่าค่า LC₅₀, EC₅₀ และ ErC₅₀ ที่ได้จากการทดสอบ หรือการนำมาจากแหล่งข้อมูลนั้น ครอบคลุมและรองรับความไม่แน่นอนที่เกิดจากหลายปัจจัย เช่น ความแตกต่างระหว่างสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด ความแปรปรวนของข้อมูลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ และความแตกต่างระหว่างสัตว์ทดลองกับสิ่งมีชีวิตจริงในธรรมชาติ เป็นต้น ทั้งนี้ เพื่อให้การคาดการณ์ความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำมีความถูกต้องหรือใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากยิ่งขึ้น โดยค่า UF ที่ถูกนำมาใช้ในบริบทของคู่มือฉบับนี้ คือ 10 10 และ 1 สำหรับการประเมินความเสี่ยงในปลา ไรน้ำ และสาหร่าย ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ค่าปัจจัยความไม่แน่นอนนี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามคุณภาพและปริมาณของข้อมูล ตามแนวทางของ European Commission (2003) ระบุว่าเมื่อมีข้อมูลที่มีคุณภาพสูงเพียงพอ สามารถปรับลดค่าปัจจัยความไม่แน่นอนเริ่มต้นจาก 10 ลงเหลือเพียง 3 ได้ เพื่อสะท้อนถึงความไม่แน่นอนที่ลดลงในกระบวนการประเมินความเสี่ยง

3.1.5 ค่าความเข้มข้นที่คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ (Predicted No Effect Concentration: PNEC)

การคำนวณค่า PNEC คือการคาดการณ์ค่าที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบทางลบต่อสิ่งมีชีวิตหรือระบบนิเวศในระดับที่สามารถตรวจวัดได้ โดยการคำนวณค่า PNEC จะเป็นการนำค่าความไวของสิ่งมีชีวิต ได้แก่



ปลา ไรน้ำ และสาหร่าย ต่อสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ในนาข้าว ได้แก่ ค่า LC_{50} , EC_{50} และ ErC_{50} ทหารด้วยค่า UF เพื่อให้ได้ค่า PNEC ที่ปลอดภัยสำหรับสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ในระบบนิเวศจริง ตามสมการดังนี้

$$PNEC_{Fish} = \frac{LC_{50}}{UF (10)}$$

$$PNEC_{Daphnia} = \frac{EC_{50}}{UF (10)}$$

$$PNEC_{Algae} = \frac{ErC_{50}}{UF (1)}$$

ค่า PNEC จะถูกนำมาใช้ร่วมกับค่า PEC (Predicted Environmental Concentration) เพื่อประเมินอัตราส่วนความเสี่ยง (Risk quotient: RQ) ต่อไป

3.2 การประเมินการสัมผัสในแหล่งน้ำ (Aquatic exposure assessment)

การประเมินการสัมผัสในแหล่งน้ำ คือ กระบวนการวิเคราะห์และประมาณระดับของสารเคมีหรือสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีแนวโน้มจะเข้าสู่ระบบนิเวศทางน้ำที่สนใจ ได้แก่ น้ำในแปลงนาข้าวและแหล่งน้ำผิวดินบริเวณใกล้เคียง โดยการประเมินนั้นจะพิจารณาข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งที่มาของสารสู่แหล่งน้ำ กลไกการเคลื่อนที่ของสาร และพฤติกรรมของสารในระบบนิเวศของแหล่งน้ำ เป็นต้น

หลังจากนั้นกระบวนการดังกล่าวจะถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ได้แก่ ปลา ไรน้ำ และสาหร่าย ในรูปแบบของค่าความเข้มข้นของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมที่คาดการณ์ไว้ในแหล่งน้ำผิวดิน (PEC_{sw}) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า PNEC แล้วคาดการณ์ออกมาเป็นความเสี่ยงที่เกิดขึ้นต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

3.2.1 กลไกหลักของการแพร่กระจายสารเคมีสู่แหล่งน้ำ (Main routes of aquatic exposure)

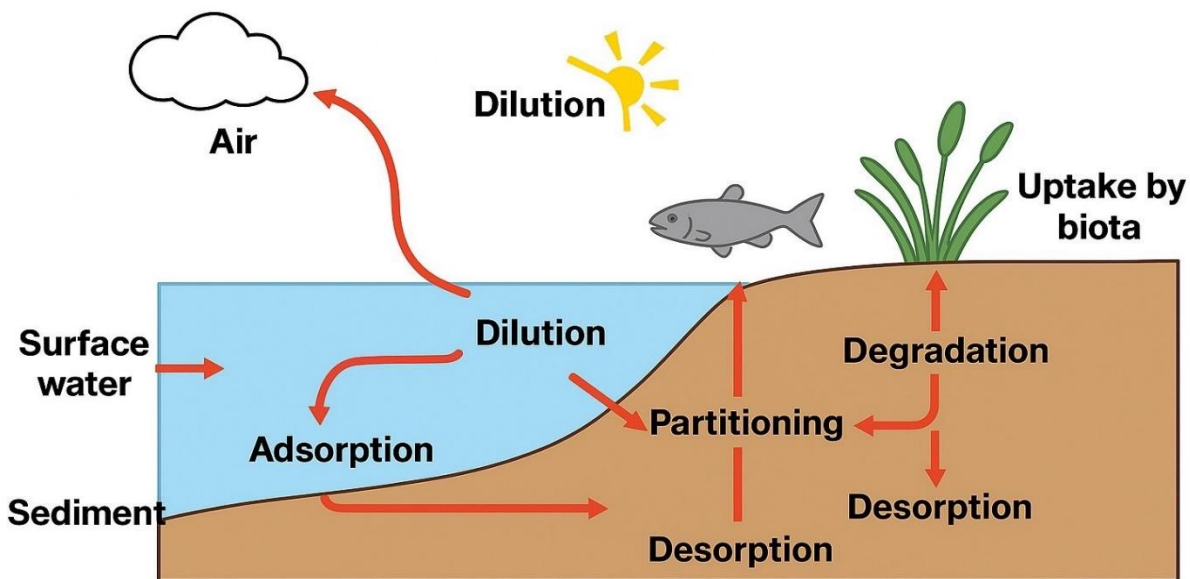
ในบริบทของคู่มือฉบับนี้ การแพร่กระจายของสารเคมีสู่แหล่งน้ำจะมุ่งเน้นไปที่การเคลื่อนที่ของละอองสารจากการพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในแปลงนาข้าวแล้วเกิดการฟุ้งกระจายลงสู่แหล่งน้ำ การระบายน้ำและการไหลบ่าจากการปล่อยน้ำจากแปลงนาข้าวลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน เช่น คลองชลประทานหรือบ่อกักเก็บน้ำของเกษตรกร ซึ่งจะถูกนำมาพิจารณาในการประเมินความเสี่ยงของการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำต่อไป



3.2.2 พฤติกรรมของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในระบบนิเวศทางน้ำ (Pesticide fate in aquatic systems)

พฤติกรรมของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในระบบนิเวศทางน้ำ หมายถึงสิ่งที่เกิดขึ้นกับสารหลังจากปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม รวมถึงกระบวนการที่สารนั้นเคลื่อนที่ แยกตัว และกระจายตัวในสิ่งแวดล้อม โดยสามารถสรุปกระบวนการที่สำคัญ ดังภาพที่ 3.1

Pesticide Fate in Aquatic Systems



ภาพที่ 3.1 พฤติกรรมของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในระบบนิเวศทางน้ำ

ที่มา: ดัดแปลงจาก U.S. EPA (2004)

3.2.2.1 การเคลื่อนที่ของละออง (Drift)

เป็นการเคลื่อนที่ของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชออกจากพื้นที่เป้าหมายไปยังบริเวณโดยรอบ ในรูปของละอองสารที่ถูกพ่นลอยออกนอกแนวพ่นจากการพัดพาของกระแสลมหรือสภาพแวดล้อม ในขณะที่พ่น พฤติกรรมนี้อาจส่งผลให้มีสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชไปตกในแหล่งน้ำผิวดินที่นอกเหนือจากแปลงนาข้าว ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้

3.2.2.2 การระบายน้ำ (Drainage)

เป็นการระบายน้ำในนาข้าวสู่ลำรางรอบข้าง คลองชลประทาน หรือแหล่งน้ำผิวดินอื่น ๆ ผ่านการควบคุมโดยมนุษย์หรือกระบวนการทางธรรมชาติ โดยทั่วไปมักเกิดขึ้นภายหลังการชลประทานหรือฝนตก เมื่อน้ำที่สะสมอยู่ถูกปล่อยผ่านทาง การระบายน้ำหรือขอบคันนา ระหว่างเกิดกระบวนการนี้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจะไหลไปกับน้ำที่ระบายออกสู่แหล่งน้ำข้างเคียง ซึ่งก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อระบบนิเวศในพื้นที่ปลายน้ำ การระบายน้ำจึงเป็นเส้นทางหลักสำคัญในการเคลื่อนย้ายของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ซึ่งจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบในกระบวนการประเมินความเสี่ยงทางน้ำ



3.2.2.3 การไหลบ่า (Run-off)

กระบวนการที่น้ำผิวดินจากฝนตกหรือการชลประทานสะสมในปริมาณที่มากเกินไปจนเกินกว่าที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้ จนเกิดการไหลของน้ำเหนือผิวดินออกไปยังพื้นที่ต่ำหรือแหล่งน้ำใกล้เคียง แต่ในบริบทนี้การไหลบ่าจะหมายถึงการเคลื่อนที่ของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช โดยการถูกพัดพาออกจากแปลงนาข้าวเข้าสู่แหล่งน้ำอื่นโดยตรง การไหลบ่าจึงเป็นหนึ่งในเส้นทางสำคัญที่นำไปสู่การปนเปื้อนของแหล่งน้ำธรรมชาติ และเป็นปัจจัยที่ควรได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบในกระบวนการประเมินความเสี่ยงของสิ่งมีชีวิตในน้ำ

3.2.2.4 การกระจายตัวของสาร (Partitioning)

กระบวนการที่สารเคมีหนึ่ง ๆ แบ่งตัวหรือกระจายเข้าสู่แต่ละเฟสของสิ่งแวดล้อม โดยการกระจายนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีและกายภาพของสาร ในบริบทนี้จะหมายถึง การกระจายตัวของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชลงสู่แหล่งน้ำ มีความสำคัญในการประเมินว่าหลังจากปลดปล่อยสารเข้าสู่แปลงนาข้าว และแหล่งน้ำผิวดินแล้ว สารนั้นมีแนวโน้มจะตกค้างอยู่ในน้ำ ซึมลงสู่ดิน ระเหยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ หรือสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อการคาดการณ์การสัมผัสของสิ่งมีชีวิตและการประเมินความเสี่ยง

3.2.3 การคำนวณค่าความเข้มข้นของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมที่คาดการณ์ในแหล่งน้ำผิวดิน (Predicted Environmental Concentration in surface water (PEC_{sw}) Calculation)

การคำนวณค่า PEC_{sw} คือ การคาดการณ์ปริมาณของสารเคมีที่พบในแหล่งน้ำผิวดินที่สนใจ โดยใช้การคำนวณจากแบบจำลอง (model) ต่าง ๆ ในคู่มือฉบับนี้ แหล่งน้ำที่สนใจ ได้แก่ น้ำในแปลงนาข้าว และแหล่งน้ำผิวดินที่ใกล้เคียง หลังจากการพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชลงแปลงนาข้าว โดยค่าดังกล่าว มักใช้เป็นตัวแทนของระดับการได้รับสัมผัสของสิ่งมีชีวิตในน้ำ

ในการคำนวณค่า PEC_{sw} ของการประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ จะพิจารณาจากพฤติกรรมของสารในระบบนิเวศนั้น ๆ เช่น การละลายหรือการผสมของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในน้ำ การสลายตัว และการดูดซับของสารกับตะกอน เป็นต้น การคำนวณด้วยแบบจำลอง มักดำเนินการตามลำดับขั้น (tiered approach) โดยสามารถเพิ่มกระบวนการอื่น ๆ ตามความจำเป็นเพื่อสะท้อนถึงระดับความเข้มข้นที่แท้จริงได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น

หลังจากนั้น ค่า PEC_{sw} จะถูกนำไปพิจารณาร่วมกับค่า PNEC เพื่อใช้ในการประเมินความเสี่ยงของการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในแปลงนาข้าวต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ตามสมการในข้อ 2.5.1



$$RQ = \frac{PEC_{sw}}{PNEC}$$

โดยที่:

- PEC_{sw} คือ ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมที่คาดการณ์ไว้ในแหล่งน้ำผิวดิน
- PNEC คือ ค่าความเข้มข้นที่คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ

โดยหากอ้างอิงจากค่า RQ สามารถประเมินค่าความเสี่ยงได้ดังนี้

- $RQ \leq 1$ แสดงว่า ความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (Acceptable risk)
- $RQ > 1$ แสดงว่า มีความเสี่ยง (Unacceptable risk)

3.3 การประเมินความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสของสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Aquatic risk assessment)

3.3.1 หลักการประเมินแบบลำดับขั้น (Principle of tier approach)

การประเมินความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสของสิ่งมีชีวิตในน้ำ จะประเมินแบบลำดับขั้น โดยมีการเรียงลำดับขั้นจากสถานการณ์ง่ายภายใต้การสมมติค่าที่มีข้อมูลน้อยที่สุด ไปจนถึงสถานการณ์ซับซ้อนที่มีข้อมูลรายละเอียดมากขึ้น เพื่อให้แบบจำลองสะท้อนความเป็นจริงได้อย่างใกล้เคียงมากที่สุด โดยจะเริ่มจากลำดับขั้นที่ 1 (Tier 1) ซึ่งเป็นการใช้ข้อมูลพื้นฐานก่อนอันดับแรก หากผลการประเมินพบว่ามีความเสี่ยง จะทำการประเมินต่อในลำดับขั้นที่ 2 (Tier 2) และลำดับขั้นที่ 3 (Tier 3) ที่เป็นขั้นตอนที่มีความซับซ้อนและมีการใช้ข้อมูลที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น ใช้เวลาและค่าใช้จ่ายมากยิ่งขึ้น ในคู่มือฉบับนี้ การประเมินจะเน้นที่ลำดับ Tier 1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1.1 ลำดับขั้นที่ 1 (Tier 1) เป็นการประเมินจากข้อมูลพื้นฐานการทดลองในห้องปฏิบัติการมาตรฐาน (core lab data) ภายใต้สถานการณ์ที่มีข้อมูลน้อยที่สุด (worst-case scenario) ได้แก่ การได้รับสัมผัสสารแบบต่อเนื่อง (constant exposure) สภาพแวดล้อมแบบจำลอง (standard lab conditions) และทดสอบในสายพันธุ์ชนิดเดียว (single species test) ข้อมูลพื้นฐานค่าข้อมูลพิษวิทยา (toxicity endpoints) และค่า PEC เพื่อคำนวณค่า RQ การประเมินความเสี่ยงลำดับขั้น Tier 1 จะต้องมีข้อมูลพิษวิทยาจากการทดสอบกับสิ่งมีชีวิตในน้ำ 3 กลุ่มหลักที่อยู่ในระดับขั้นของห่วงโซ่อาหาร (trophic level) ได้แก่ ผู้ผลิตลำดับต้น (primary producers) คือ สาหร่าย ผู้บริโภคลำดับต้น (primary consumers) คือ ไรน้ำ และผู้บริโภคลำดับที่สอง (secondary consumers) คือ ปลา โดยค่า endpoint และระยะเวลาที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงทางน้ำ แสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งตัวอย่างที่แสดงสามารถเลือกใช้สายพันธุ์อื่น ๆ ของสิ่งมีชีวิตที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง



ตารางที่ 3.1 ค่า Endpoint และระยะเวลาที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงทางน้ำ

ชนิดของ สิ่งมีชีวิต	สายพันธุ์	Endpoint	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	หมายเหตุ
สาหร่าย	<i>Raphidocelis subcapitata</i> (formerly <i>Pseudokirchneriella</i> <i>subcapitata</i>)	ErC ₅₀	72	active ingredient (a.i.)
ไรน้ำ	<i>Daphnia magna</i>	EC ₅₀	48	active ingredient (a.i.)
ปลา	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	LC ₅₀	96	active ingredient (a.i.)

หมายเหตุ แม้ว่าระยะเวลามาตรฐานในการทดสอบจะกำหนดไว้ที่ 72 ชั่วโมง แต่สามารถใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่า (อย่างน้อย 48 ชั่วโมง) หรือยาวกว่านั้น หากผลการทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์ความสมบูรณ์ของการทดสอบ (Validity criteria) ตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน OECD TG 201

3.3.2 การคำนวณดัชนีความเสี่ยงระดับขั้นที่ 1 (Tier 1 risk quotient calculation)

การคำนวณดัชนีความเสี่ยงระดับขั้นที่ 1 เป็นกระบวนการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้น (screening-level assessment) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ โดยวิธีนี้อาศัยการเปรียบเทียบระหว่างค่า PEC กับค่าที่แสดงถึงระดับความเป็นพิษของสารนั้นต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น ค่า toxicity endpoint (LC₅₀, EC₅₀, และ ErC₅₀) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้สูตรพื้นฐานในการคำนวณเช่นเดียวกับข้อ 2.5.1

โดยค่า RQ ใช้เป็นตัวชี้วัดความเสี่ยง หากค่า RQ มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า การรับสัมผัสสารเคมีภายใต้สมมติฐานที่แย่ที่สุด สูงกว่าค่า PNEC ซึ่งบ่งชี้ว่ามีความเสี่ยงต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นควรพิจารณาการประเมินความเสี่ยงในระดับขั้นที่สูงขึ้น (Tier 2 หรือ Tier 3) หรือพิจารณามาตรการลดผลกระทบหรือบรรเทาความเสี่ยง

ปัจจุบันมีการพัฒนา “แบบจำลองการคาดการณ์ความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ (Aquatic environment modelling)” ในหลายรูปแบบ เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารเคมีต่อสิ่งแวดล้อมในง่ายขึ้น

3.3.3 แบบจำลองการคาดการณ์ความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ (Aquatic environment modelling)

แบบจำลองการคาดการณ์ความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ที่ถูกพัฒนาขึ้นมีหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับทีมพัฒนา ในคู่มือฉบับนี้ จะเน้นไปที่การประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในนาข้าว โดยมีแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นมากมาย ดังแสดงในตารางที่ 3.2



ตารางที่ 3.2 แบบจำลองน้ำผิวดินในนาข้าว

ชื่อแบบจำลอง	ระดับชั้น (Tier)	หน่วยงานที่พัฒนา	ประเทศ
CN TopRice model	ระดับชั้นที่ 2	CN ICAMA	ประเทศจีน
Japanese Acute PEC Model for aquatic organisms	ระดับชั้นที่ 1	JP MAFF	ประเทศญี่ปุ่น
US-EPA Tier I Rice Model v1.0	ระดับชั้นที่ 1	U.S. EPA	ประเทศสหรัฐอเมริกา
RICEWQ	ระดับชั้นที่ 2	U.S. EPA	ประเทศสหรัฐอเมริกา
EU MED-RICE	ระดับชั้นที่ 1	EU EFSA	สหภาพยุโรป

คู่มือฉบับนี้ จะนำแบบจำลอง “EU MED-RICE” ของ EFSA มาใช้ในการประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำในนาข้าว พร้อมใช้เป็นตัวอย่างให้ผู้สนใจสามารถนำไปปฏิบัติได้

3.3.4 ตัวแปรสำหรับแบบจำลอง (Modelling input)

ตัวแปรหรือพารามิเตอร์สำหรับใช้ในแบบจำลอง EU MED-RICE (MED-Rice Model) คือ ข้อมูลที่จำเป็นต้องใส่ในแบบจำลองเพื่อใช้ในการคำนวณค่า RQ และนำค่า RQ ที่ได้มาแปรผลค่าความเสี่ยงต่อสิ่งมีชีวิตทางน้ำในแหล่งน้ำบริเวณรอบ ๆ แปลงนาข้าวต่อไป โดยมีพารามิเตอร์ที่จำเป็น มีดังนี้

▪ พารามิเตอร์ของพื้นที่ (Site parameters)

1. เนื้อดิน (Soil texture)
2. ความลึกของน้ำในนาข้าว (เมตร) (water level in field; $depth_{PaddyWater}$ (m))
3. ความลึกของแหล่งน้ำผิวดิน (เมตร) (depth of surface water body; $depth_{SurfaceWaterBody}$ (m))
4. ความลึกของดินที่อยู่ใต้ระดับผิวน้ำในแปลงนาข้าว (เมตร)
(depth of soil below paddy water; $depth_{PaddySoil}$ (m))
5. ความลึกของตะกอนใต้แหล่งน้ำผิวดิน (เมตร)
(depth of sediment below surface water body; $depth_{Sediment}$ (m))
6. ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินนาข้าว (%) (organic carbon in paddy soil; $OC_{PaddySoil}$ (%))
7. ความหนาแน่นของดินนาข้าว (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร) (soil bulk density; $BD_{PaddySoil}$ (kg/dm³))
8. ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอน (%) (organic carbon in sediment; OC (%))
9. ความหนาแน่นของตะกอน (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)
(sediment bulk density; $BD_{sediment}$ (kg/dm³))
10. ระยะเวลาที่ทำการปิดกั้นน้ำหรือปิดพื้นที่นาข้าว (วัน) (time of closure of field; T_{close} (d))
11. การเจือจางด้วยการปล่อยน้ำเข้า-ออกในนาข้าว (dilution factor; $fact_{dilution}$)
12. ค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงของดินในนาข้าว (ลูกบาศก์เดซิเมตรต่อกิโลกรัม)
(sorption coefficient of paddy soil; $Kd_{PaddySoil}$ (dm³/kg))
13. สัดส่วนการกระจายตัวเข้าสู่ดินในนาข้าว (fraction partitioning to paddy soil; $F_{sorbed_{PaddySoil}}$ (-))



14. ค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงของตะกอนดิน (ลูกบาศก์เดซิเมตรต่อกิโลกรัม)

(sorption coefficient of sediment; $K_{d_{\text{Sediment}}}$ (dm^3/kg))

15. สัดส่วนการกระจายตัวเข้าสู่ตะกอนดินในนาข้าว

(fraction partitioning to sediment; $F_{\text{sorbed}_{\text{Sediment}}}$ (-))

ข้อเสนอแนะ: ในการกรอกข้อมูลพารามิเตอร์ของพื้นที่ ให้เพิ่มพารามิเตอร์ที่ได้จากการตรวจวัดจากพื้นที่ในประเทศไทย (ถ้ามี) ข้อมูลที่ได้จากคำแนะนำโดยหน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่กำกับดูแล และค่ามาตรฐาน (default values) ที่กำหนดไว้ในแบบจำลอง EU-MED-RICE หากใช้พารามิเตอร์จากแหล่งอื่น จำเป็นต้องแนบเหตุผลพร้อมเอกสารอ้างอิงประกอบ

■ วิธีการใช้ (Use practices)

1. อัตราการใช้ (กรัมต่อเฮกตาร์) (application rate of product; Dose (g/ha))
2. ระยะการเจริญเติบโตของข้าว (BBCH stage; $f_{\text{interception}}$)
3. การฟุ้งกระจายของสารไปยังแหล่งน้ำข้างเคียง (fraction drift to adjacent water body; f_{drift})
4. ปริมาณสารที่ตกสะสมในแปลงนาข้าว (fraction of dose deposited to paddy field; f_{dep})

■ คุณสมบัติทางเคมี (Substance properties)

1. ค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงที่สัมพันธ์กับคาร์บอนอินทรีย์ (ลูกบาศก์เดซิเมตรต่อกิโลกรัม) (K_{oc} (dm^3/kg)) ในกรณีที่มีข้อมูลชุดเดียวกันจากหลายแหล่ง (multiple data) ให้ใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (geometric mean หรือ geommean) ของข้อมูลทั้งหมดในการประเมิน

2. ระยะเวลาที่สารเคมีลดลงเหลือปริมาณครึ่งหนึ่ง (ระบบน้ำเหนือแปลงนาข้าว) (วัน) (in flooded paddy system; $DT_{50\text{PaddyWater},\text{total}}$ (d)) ควรเลือกใช้ค่า DeT_{50} ของระบบน้ำและตะกอนดินโดยรวม (whole water-sediment system) ซึ่งได้จากการศึกษาเมแทบอลิซึมในสภาวะที่มีอากาศของระบบน้ำและตะกอนดิน (aerobic water-sediment metabolism study) หากไม่มีข้อมูลดังกล่าว สามารถใช้ค่า $DegT_{50}$ ที่ได้จากการศึกษาเมแทบอลิซึมในดินสภาวะที่มีอากาศ (aerobic soil metabolism study) แทนได้

การสลายตัวด้วยแสง (photolysis) สามารถนำมาพิจารณาเพื่อการตรวจสอบกลั่นกรองข้อมูล (refinement) ในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโตของพืชตามดัชนี BBCH ซึ่งเป็นช่วงที่แสงแดดยังสามารถส่องลงไปถึงน้ำได้โดยตรง

การสลายตัวและการกระจายตัวในน้ำ (dissipation in the water phase) หรือข้อมูลจากภาคสนาม (aquatic field study) สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบกลั่นกรองข้อมูล หากทำการประเมินความเสี่ยงในระดับที่สูงขึ้น ในกรณีที่มีข้อมูลชุดเดียวกันจากหลายแหล่ง ให้ใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของข้อมูลทั้งหมดในการประเมิน

3. ระยะเวลาที่สารเคมีลดลงเหลือปริมาณครึ่งหนึ่ง (ระบบน้ำหรือตะกอนดินในแปลงนาข้าว) (วัน) (in sediment/water system; $DT_{50\text{SurfaceWater},\text{total}}$ (d))



ควรเลือกใช้ค่า DeT_{50} ของระบบน้ำและตะกอนดินโดยรวม (whole water-sediment system) ซึ่งได้จากการศึกษาเมแทบอลิซึมในสถานะที่มีอากาศของระบบน้ำและตะกอนดิน หากไม่มีข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้ค่า $DegT_{50}$ ที่ได้จากการศึกษาเมแทบอลิซึมในดินสถานะที่มีอากาศแทนได้

การสลายตัวด้วยแสง สามารถนำมาพิจารณาเพื่อการตรวจสอบกลั่นกรองข้อมูล ในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโตของพืชตามดัชนี BBCH ซึ่งเป็นช่วงที่แสงแดดยังสามารถส่องลงไปถึงน้ำได้โดยตรง

การสลายตัวและการกระจายตัวในน้ำ หรือข้อมูลจากภาคสนาม สามารถนำมาใช้เป็นการตรวจสอบกลั่นกรองข้อมูล หากทำการประเมินความเสี่ยงในระดับที่สูงขึ้น ในกรณีนี้ จะต้องปรับค่าสัมประสิทธิ์การแจกแจงที่สัมพันธ์กับคาร์บอนอินทรีย์ (K_{oc}) ให้เป็น 0 เพื่อป้องกันการคำนวณซ้ำ อันเนื่องมาจากการกระบวนการแยกส่วนของสาร (partitioning)

ในกรณีที่มีข้อมูลชุดเดียวกันจากหลายแหล่ง ให้ใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของข้อมูลทั้งหมดในการประเมิน

หมายเหตุ ข้อมูลที่นำมาใช้ ควรมาจากเอกสารอ้างอิงทางวิชาการ เอกสารขององค์กรระหว่างประเทศที่มีความน่าเชื่อถือ และการศึกษาความเป็นพิษที่ผู้ผลิตสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชยื่นต่อหน่วยงานรัฐที่กำกับดูแล เช่น EFSA, U.S. EPA, FAO/WHO JMPR และหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

■ ค่าความเป็นพิษ (Toxicity endpoints)

1. ค่าทดสอบพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของสารที่ทำให้ปลาตายร้อยละ 50 (มิลลิกรัมต่อลิตร) (LC_{50} (mg/L); acute fish)
2. ค่าปัจจัยความไม่แน่นอนความเป็นพิษเฉียบพลันในปลา (Acute fish uncertainty factor)
3. ค่าการทดสอบพิษเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อไรน้ำร้อยละ 50 (มิลลิกรัมต่อลิตร) (EC_{50} (mg/L); acute daphnia)
4. ค่าปัจจัยความไม่แน่นอนความเป็นพิษเฉียบพลันในไรน้ำ (Acute daphnia uncertainty factor)
5. ค่าความเข้มข้นของสารเคมีที่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลงร้อยละ 50 (มิลลิกรัมต่อลิตร) (ErC_{50} (mg/L); algae growth)
6. ค่าปัจจัยความไม่แน่นอนที่ทำให้มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Algae growth uncertainty factor)



3.3.5 การใช้ MED-Rice Model

คู่มือฉบับนี้ จะแนะนำการประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำโดยใช้ MED-Rice Model (MED-Rice, 2003) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการคาดการณ์ความเสี่ยงด้วยโปรแกรมการคำนวณ Microsoft® Excel® ที่ใช้งานได้ง่าย

ขั้นตอนในการใช้เครื่องมือ MED-Rice มีดังนี้

1. เปิดไฟล์ Microsoft® Excel®

Substance A:

INPUT: Site parameters

Soil texture	
depth _{PaddyWater} (m) (water level in field)	
depth _{SurfaceWaterBody} (m) (depth of surface water body)	
depth _{PaddySoil} (m) (depth of soil below paddy water)	
depth _{Sediment} (m) (depth of sediment below surface water body)	
OC _{PaddySoil} (%) (organic carbon in paddy soil)	
BD _{PaddySoil} (kg/dm ³) (soil bulk density)	
OC (%) (organic carbon in sediment)	
BD _{sediment} (kg/dm ³) (sediment bulk density)	
T _{close} (d) (time of closure of field)	
fact _{dilution} (dilution factor)	
Kd _{PaddySoil} (dm ³ /kg) (sorption coefficient of paddy soil)	
F _{sorbedPaddySoil} (-) (fraction partitioning to paddy soil)	
Kd _{Sediment} (dm ³ /kg) (sorption coefficient of sediment)	
F _{sorbedSediment} (-) (fraction partitioning to sediment)	

INPUT: Use practices

Dose (g/ha) (application rate of product)	
BBCH stage (f _{interception})	
f _{drift} (fraction drift to adjacent water body)	
f _{dep} (fraction of dose deposited to paddy field)	

INPUT: Substance Properties

Koc (dm ³ /kg)	
DT50 _{PaddyWater, total} (d) in flooded paddy system	
DT50 _{SurfaceWater, total} (d) in sediment/water system	

INPUT: Toxicity endpoints

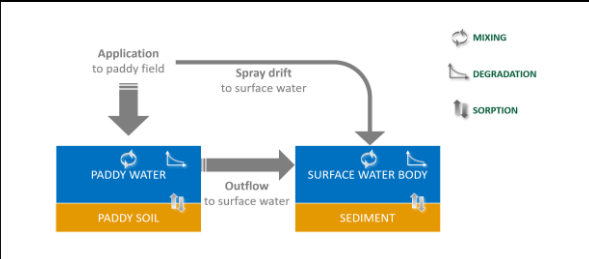
LC50 (mg/L) Acute fish	
Acute fish uncertainty factor	10
EC50 (mg/L) Acute daphnia	
Acute daphnia uncertainty factor	10
ErC50 (mg/L) Algal growth	
Algal growth uncertainty factor	1

This tool was created for the Malaysia Environmental Risk Assessment Training Workshop Part 2, Surface Water Modelling in Rice Crops

The model was created based on:
MED-Rice (2003). *Guidance documents for environmental risk assessment of active substances used in rice in the EU for Annex I inclusion*. Sanco/1090/2000 – rev.1, Brussels, June 2003, 108pp

Rice interception from:
TOP_RICE (2014).

Tool accompanies the presentation:
Rödig & Li (2023): *Surface Water Modelling in Rice Crops*. Crop Life Asia: Malaysia Environmental Risk Assessment Training Workshop Part 2.

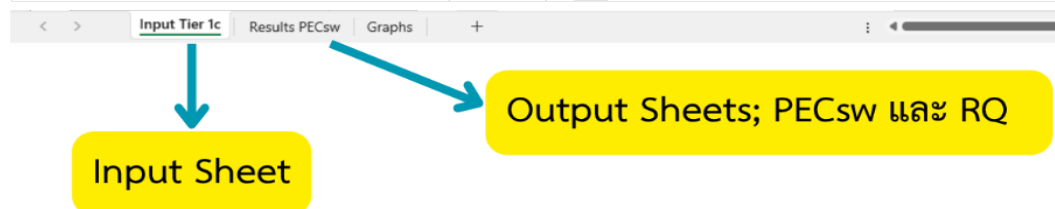


Conceptual Model. (Rödig & Li, 2023; figure adapted from Figure 5.1.2.1, MED-Rice, 2003)

Standard aquatic toxicity test

Type of test	Species (recommended)	Endpoint	Duration	Guideline	Comment
Acute fish	<i>Oreochromis mykiss</i>	LC ₅₀	96h	OECD 203	Always required for ai, conditionally required for formulation
Acute Daphnia	<i>Daphnia magna</i>	EC ₅₀	48h	OECD 202	Always required for ai & formulation
Algal growth	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	ErC ₅₀	72h	OECD 201	Always required for ai & formulation

For more information see presentation: Hager (2023): Acute toxicity to algae, daphnia & fish and aquatic risk assessment. Crop Life Asia: Malaysia Environmental Risk Assessment Training Workshop Part 2.



แม้ว่าใน MED-Rice Model จะระบุช่องสำหรับใส่ข้อมูลปริมาณ (Dose) เป็น “(g/ha) (อัตราการใช้ผลิตภัณฑ์)” แต่ให้ทราบว่าข้อมูลที่ต้องบันทึกลงจริง คือ “g a.i./ha” ซึ่งหมายถึงน้ำหนักของสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ไม่ใช่น้ำหนักของตัวผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป



2. ใส่ข้อมูลในส่วนของ Input sheet มีรายละเอียดที่ต้องกรอก ดังนี้

2.1 ระบุชื่อสาร ประเภทของสาร และระบุข้อมูลลักษณะเฉพาะของพื้นที่

```

graph LR
    SA[Substance A] --> IP[INPUT: Site parameters]
    SA --> OP[Output parameters]
    IP --> OP
    
```

Substance A:

INPUT: Site parameters

Soil texture

depth_{PaddyWater} (m) (water level in field)

depth_{SurfaceWaterBody} (m) (depth of surface water body)

depth_{PaddySoil} (m) (depth of soil below paddy water)

depth_{Sediment} (m) (depth of sediment below surface water body)

OC_{PaddySoil} (%) (organic carbon in paddy soil)

BD_{PaddySoil} (kg/dm³) (soil bulk density)

OC (%) (organic carbon in sediment)

BD_{sediment} (kg/dm³) (sediment bulk density)

T_{close} (d) (time of closure of field)

fact_{dilution} (dilution factor)

Kd_{PaddySoil} (dm³/kg) (sorption coefficient of paddy soil)

F_{sorbedPaddySoil} (-) (fraction partitioning to paddy soil)

Kd_{Sediment} (dm³/kg) (sorption coefficient of sediment)

F_{sorbedSediment} (-) (fraction partitioning to sediment)

Output parameters

ระบุชื่อสาร และประเภทของสาร

ระบุข้อมูลลักษณะเฉพาะของพื้นที่

2.2 ระบุข้อมูลวิธีการที่เกษตรกรใช้สาร

INPUT: Use practices	
Dose (g/ha) (application rate of product)	
BBCH stage ($f_{\text{interception}}$)	
f_{drift} (fraction drift to adjacent water body)	
f_{dep} (fraction of dose deposited to paddy field)	

ระบุข้อมูลวิธีการ
ที่เกษตรกรใช้สาร

2.3 ระบุข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่อธิบายลักษณะเฉพาะของสาร

INPUT: Substance Properties	
Koc (dm³/kg)	
DT50 _{PaddyWater,total} (d) in flooded paddy system	
DT50 _{SurfaceWater,total} (d) in sediment/water system	

ระบุข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่อธิบายลักษณะเฉพาะของสาร

2.4 ระบุค่าที่แสดงระดับความเป็นพิษของสารต่อสิ่งมีชีวิต

INPUT: Toxicity endpoints	
LC50 (mg/L) Acute fish	
Acute fish uncertainty factor	10
EC50 (mg/L) Acute daphnia	
Acute daphnia uncertainty factor	10
ErC50 (mg/L) Algeal growth	
Algeal growth uncertainty factor	1

ระบุค่าที่แสดงระดับความเป็นพิษของสารต่อสิ่งมีชีวิต



3. คลิกที่ Result PEC_{sw} ได้ Output sheets: PEC_{sw} และ RQ ดังนี้

3.1 ค่า PEC_{sw} ที่ได้ สำหรับปลา ไรน้ำ และสาหร่าย ในระดับ Step 1a 1b และ 1c

EXPOSURE ASSESSMENT	
	PECs
RESULTS: Step 1a $PEC_{PaddyWater}$ ($\mu g/L$) $PEC_{SurfaceWaterDrift}$ ($\mu g/L$) $PEC_{SurfaceWater}$ ($\mu g/L$)	
RESULTS: Step 1b $PEC_{PaddyWater}$ (T_{close}) ($\mu g/L$) $PEC_{SurfaceWaterDrift}$ (T_{close}) ($\mu g/L$) $PEC_{SurfaceWater}$ (T_{close}) ($\mu g/L$)	
RESULTS: Step 1c $PEC_{PaddyWater}$ (T_{close}) ($\mu g/L$) $PEC_{SurfaceWaterDrift}$ (T_{close}) ($\mu g/L$) $PEC_{SurfaceWater}$ (T_{close}) ($\mu g/L$)	

ผลลัพธ์ค่า PEC_{sw} ที่ได้ใน Step 1a 1b และ 1c

Step 1a: Mixing
Step 1b: Mixing + Degradation
Step 1c: Mixing + Degradation + Sorption

3.2 ค่า RQ ที่ได้ สำหรับปลา ไรน้ำ และสาหร่าย ในระดับ Step 1a 1b และ 1c

AQUATIC RISK ASSESSMENT		
	RQ(PEC)	RQ(TWA)
Step 1a RQ Acute fish RQ Acute Daphnia RQ Algeal growth		
Step 1b RQ Acute fish RQ Acute Daphnia RQ Algeal growth		
Step 1c RQ Acute fish RQ Acute Daphnia RQ Algeal growth		

ผลลัพธ์ค่า RQ ที่ได้ใน Step 1a 1b และ 1c

Step 1a: Mixing
Step 1b: Mixing + Degradation
Step 1c: Mixing + Degradation + Sorption

ผลลัพธ์ที่ได้ในข้อ 3.1 และ 3.2 แบ่งออกได้ 3 กรณี ดังนี้

- **Step 1a** หมายถึง ความเสี่ยงที่เกิดจากการผสมสาร ซึ่งกระบวนการนี้ทำให้เกิดการสูญเสียความเข้มข้นของสารบางส่วน ไม่ได้คำนึงถึงค่าการสลายตัวและการถูกดูดซับของสารในน้ำและดิน ถือเป็นการประเมินความเสี่ยงจากกรณีที่แย่ที่สุด (worst case)
- **Step 1b** หมายถึง ความเสี่ยงที่เกิดจากการผสมสาร และคำนึงถึงค่าการสลายตัวของสารในน้ำและดิน จากกรณีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส การสลายตัวด้วยแสงแดด รวมถึงการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ แต่ไม่ได้คำนึงถึงค่าการดูดซับในดินของสาร
- **Step 1c** หมายถึง ความเสี่ยงที่เกิดจากการผสมสาร ค่าการสลายตัวของสารในน้ำและดิน รวมทั้งคำนึงถึงการถูกดูดซับในดินของสารร่วมด้วย



การประเมินผลการคำนวณความเสี่ยง โดยการใช้เครื่องมือ MED-Rice จะได้ค่า RQ ซึ่งสามารถสรุปความเสี่ยงได้ ดังนี้

$RQ \leq 1$ แสดงว่า ความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (Acceptable risk)

$RQ > 1$ แสดงว่า มีความเสี่ยง (Unacceptable risk)

ตัวอย่าง การประเมินความเสี่ยงต่อสิ่งมีชีวิตทางน้ำ



Insecticide

Compound A 5% W/V SC



Herbicide

Compound B + Compound C
35% + 35% W/V EC



Fungicide

Compound D + Compound E
15% + 15% W/V EC

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในนาข้าว

ชนิดสารพิษ	ช่วงเวลาการใช้สาร	วัตถุประสงค์	อัตราการใช้ต่อเฮกตาร์ (กรัมของสารออกฤทธิ์)
สารกำจัดแมลง (Insecticide)			
Compound A 5% W/V SC	ระยะปักดำ/ระยะย้ายกล้า (8 - 10 วัน หลังจากการหว่านเมล็ด)	ป้องกันและควบคุมแมลง ศัตรูพืชประเภทเพลี้ยหวีและ หนอนกอข้าว	Compound A: 31.25
สารกำจัดวัชพืช (Herbicide)			
Compound B + Compound C 35% + 35% W/V EC	ระยะปักดำ/ระยะย้ายกล้า (8 - 10 วัน หลังจากการหว่านเมล็ด)	กำจัดวัชพืชระยะแรก หลังจากข้าวงอกในแปลงนา	Compound B: 656.25 Compound C: 656.25
สารกำจัดเชื้อรา (Fungicide)			
Compound D + Compound E 15% + 15% W/V EC	- ระยะตั้งท้อง (75 - 80 วัน หลังจากการหว่านเมล็ด) - ระยะออกรวง (90 - 95 วัน หลังจากการหว่านเมล็ด)	ป้องกันและควบคุมโรครวง สกปรก โรคราน้ำตาล และ โรคราน้ำตาลแคบ	Compound D: 46.875 Compound E: 46.875

ที่มา: สุภรดา และคณะ (2564)



ตารางที่ 3.4 ข้อมูลลักษณะเฉพาะของพื้นที่นาข้าว

ลำดับที่	ข้อมูลลักษณะเฉพาะของพื้นที่	รายละเอียด
1	ความลึกของน้ำในนาข้าว (เมตร) (water level in field; depth _{PaddyWater} (m))	0.1
2	ความลึกของแหล่งน้ำผิวดิน (เมตร) (depth of surface water body; depth _{SurfaceWaterBody} (m))	2
3	ความลึกของดินที่อยู่ใต้ระดับผิวน้ำในแปลงนาข้าว (เมตร) (depth of soil below paddy water; depth _{PaddySoil} (m))	0.0625
4	ความลึกของตะกอนใต้แหล่งน้ำผิวดิน (เมตร) (depth of sediment below surface water body; depth _{Sediment} (m))	0.0125
5	ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินนาข้าว (%) (organic carbon in paddy soil; OC _{PaddySoil} (%))	0.5
6	ความหนาแน่นของดินนาข้าว (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร) (soil bulk density; BD _{PaddySoil} (kg/dm ³))	1.42
7	ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอน (%) (organic carbon in sediment; OC (%))	0.5
8	ความหนาแน่นของตะกอน (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร) (sediment bulk density; sediment (kg/dm ³))	1.42
9	ช่วงระยะเวลาที่ทำการปิดกั้นน้ำหรือปิดพื้นที่นา (time of closure of field; T _{close} (d))	ไม่มีการระบายน้ำ
10	การเจือจางด้วยการปล่อยน้ำเข้า-ออกในนาข้าว (dilution factor; fact _{dilution})	10
11	สถานการณ์หรือรูปแบบการไหลของน้ำในนาข้าว (Water flow scenarios of paddy field)	ตามแนวลาดของพื้นที่นา หรือตามความเอียงของพื้นที่
12	ประเภทของแหล่งน้ำผิวดิน (Type of surface water body)	คลองสาธารณะ หรือบ่อที่สร้างขึ้น
13	ระยะห่างระหว่างแหล่งน้ำผิวดินกับนาข้าว (เมตร) (Distance of surface water body to the paddy field (m))	5 - 6
14	จำนวนรอบการเพาะปลูกในแต่ละปี (ครั้ง) (Growth seasons per year (times))	2 ครั้งต่อปี
15	ปัจจัยการกั้นน้ำฝนโดยพุ่มไม้/ใบไม้ (Canopy interception factor)	ไม่มีข้อมูล
16	วิธีการใช้งานที่นิยมใช้กันทั่วไป (Common application technique)	เครื่องพ่นสารเคมีแบบกระเป๋าสเปรย์ที่มีกำลังมอเตอร์ช่วย (Motorized knapsack)

ที่มา: กรมการข้าว และสำนักวิจัยการอารักขพืช กรมวิชาการเกษตร



ข้อมูลจากตารางที่ 3.4 นำไปกรอกใส่ในส่วน INPUT: Site parameters ซึ่งเป็นข้อมูลเฉพาะของพื้นที่นาข้าว เพื่อใช้ประกอบการคาดการณ์ความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำบริเวณพื้นที่นั้น ๆ ดังนี้

INPUT: Site parameters	
Soil texture	clayey
depthPaddyWater (m) (water level in field)	0.1
depthSurfaceWaterBody (m) (depth of surface water body)	2
depthPaddySoil (m) (depth of soil below paddy water)	0.0625
depthSediment (m) (depth of sediment below surface water body)	0.0125
OCPaddySoil (%) (organic carbon in paddy soil)	0.5
BDPaddySoil (kg/dm ³) (soil bulk density)	1.42
OC (%) (organic carbon in sediment)	0.5
BD sediment (kg/dm ³) (sediment bulk density)	1.42
Tclose (d) (time of closure of field)	
factdilution (dilution factor)	10

ข้อมูลลักษณะเฉพาะ
ของพื้นที่นาข้าว

หมายเหตุ หากข้อมูลเฉพาะของพื้นที่ในส่วน INPUT: Site parameters มีข้อมูลไม่ครบถ้วน สามารถใช้ค่า default ของ model ในการคำนวณแทนได้

ข้อควรระวัง

- การเปลี่ยนหน่วยของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้ตรงกับหน่วยที่ระบุไว้ใน Model เช่น ความลึกของน้ำในนาข้าว มีหน่วยเป็น เมตร เป็นต้น
- ช่วงระยะเวลาที่ทำการปิดกั้นน้ำหรือปิดพื้นที่นา หรือ T_{close} หากในกรณีที่ไม่มีการระบายน้ำออกจากพื้นที่นาข้าว ให้ระบุความแตกต่างของช่วงเวลาระหว่างระยะเวลาที่พืชเติบโตตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวกับระยะที่มีการพ่นสารนั้น ๆ ในนาข้าว เช่น ระยะเวลาที่ข้าวเติบโตตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว เท่ากับ 120 วัน พ่นสารเมื่อข้าวเจริญเติบโตได้ 10 วัน ดังนั้น จะต้องระบุ T_{close} เท่ากับ 110 วัน เป็นต้น
- การระบุอัตราการใช้สารใน Model ให้เปลี่ยนเป็นปริมาณกรัมของสารออกฤทธิ์ที่ใช้ต่อพื้นที่ ซึ่งหน่วยของพื้นที่หากข้อมูลมีหน่วยเป็นไร่ ให้เปลี่ยนหน่วยเป็นเฮกตาร์
- การระบุระยะการเจริญเติบโตของข้าว หรือ BBCH stage ต้องสอดคล้องตามระยะที่มีการพ่นสาร ในนาข้าว เช่น พ่นสารเมื่อข้าวเจริญเติบโตได้ 10 วัน ดังนั้น จะต้องเลือก BBCH stage เป็น BBCH 00-09 (.0) เป็นต้น



Case Study 1: Insecticide compound A 5% W/V SC

พารามิเตอร์สำหรับการประเมินความเสี่ยง โดยใช้ MED-Rice

ทำการแปลงข้อมูลเพื่อให้อยู่ในหน่วยเดียวกันกับเครื่องมือ และเพิ่มข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ และข้อมูล K_{oc} , DT_{50} , LC_{50} , EC_{50} และ ErC_{50} จากแหล่งอ้างอิง ดังนี้

Substance: Insecticide compound A 5% W/V EC	
1. Site parameters	
T_{close} (d) (time of closure of field)	110
2. Use practices	
Dose (g/ha) (application rate of product)	31.25
BBCH stage ($f_{interception}$)	BBCH 00-09 (.0)
f_{drift} (fraction drift to adjacent water body)	Ground spray (0.0277)
3. Substance Properties (EFSA, 2006)	
K_{oc} (dm ³ /kg)	727
$DT_{50PaddyWater,total}$ (d) in flooded paddy system	119.6
$DT_{50SurfaceWater,total}$ (d) in sediment/water system	119.6
4. Toxicity endpoints (FAO/JMPR, 2009)	
LC_{50} (mg/L): acute fish	0.248
EC_{50} (mg/L): acute daphnia	0.190
ErC_{50} (mg/L): algae growth	0.068



นำข้อมูลที่ได้มารอกลงในเครื่องมือการคำนวณ

INPUT	
01	Site parameters
02	Use practices
03	Substance Properties
04	Toxicity endpoints

Substance : Insecticide compound A 5% W/V SC	
INPUT: Site parameters	
Soil texture	clayey
depth _{PaddyWater} (m) (water level in field)	0.1
depth _{SurfaceWaterBody} (m) (depth of surface water body)	2
depth _{PaddySoil} (m) (depth of soil below paddy water)	0.0625
depth _{Sediment} (m) (depth of sediment below surface water body)	0.0125
OC _{PaddySoil} (%) (organic carbon in paddy soil)	0.5
BD _{PaddySoil} (kg/dm ³) (soil bulk density)	1.42
OC (%) (organic carbon in sediment)	0.5
BD _{sediment} (kg/dm ³) (sediment bulk density)	1.42
T _{close} (d) (time of closure of field)	110
fact _{dilution} (dilution factor)	10
Kd _{PaddySoil} (dm ³ /kg) (sorption coefficient of paddy soil)	3.635
F _{sorbedPaddySoil} (-) (fraction partitioning to paddy soil)	0.763373116
Kd _{Sediment} (dm ³ /kg) (sorption coefficient of sediment)	3.635
F _{sorbedSediment} (-) (fraction partitioning to sediment)	0.031252403
INPUT: Use practices	
Dose (g/ha) (application rate of product)	31.25
BBCH stage (f _{interception})	BBCH 00-09 (.0)
f _{drift} (fraction drift to adjacent water body)	Ground spray (0.0277)
f _{dep} (fraction of dose deposited to paddy field)	1
INPUT: Substance Properties	
Koc (dm ³ /kg)	727
DT50 _{PaddyWater.total} (d) in flooded paddy system	119.6
DT50 _{SurfaceWater.total} (d) in sediment/water system	119.6
INPUT: Toxicity endpoints	
LC50 (mg/L) Acute fish	0.248
Acute fish uncertainty factor	10
EC50 (mg/L) Acute daphnia	0.190
Acute daphnia uncertainty factor	10
EC50 (mg/L) Algal growth	0.068
Algal growth uncertainty factor	1

Input Tier 1c	Results PECsw	Graphs	+
---------------	---------------	--------	---



คลิกที่ Results PECsw



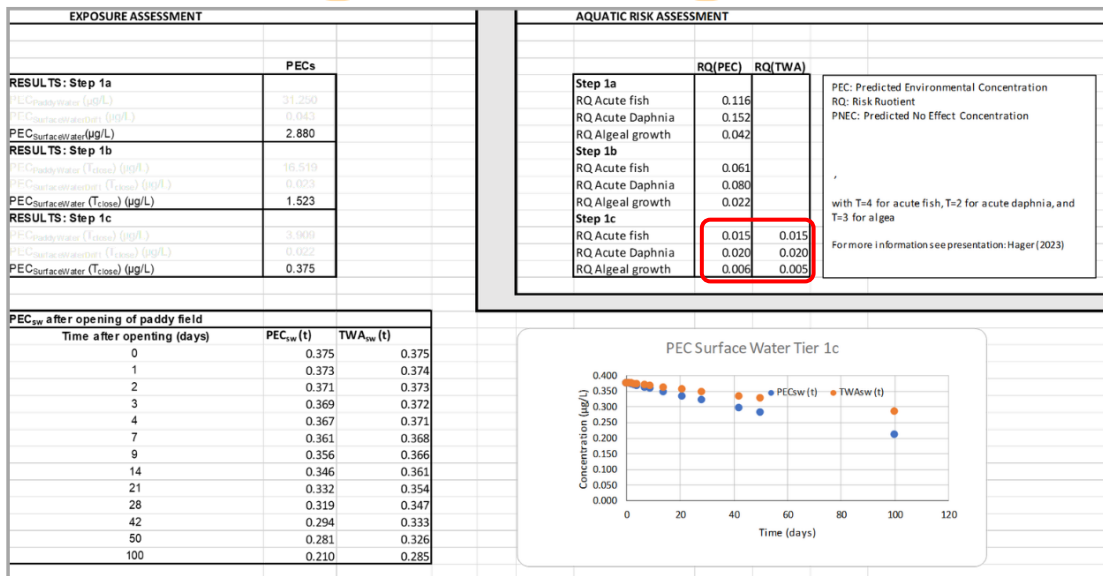
OUTPUT

01

ค่า PEC_{sw}

02

ค่า RQ



Risk is acceptable ($RQ \leq 1$)

ภาพที่ 3.2 ผลการประเมินความเสี่ยงการใช้ Insecticide compound A 5% W/V SC ในนาข้าวต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำด้วย MED-Rice tool อยู่ในระดับยอมรับได้



Case Study 2: Herbicide compound B + compound C 35% + 35% W/V EC

พารามิเตอร์สำหรับการประเมินความเสี่ยงโดยใช้ MED-Rice

ทำการแปลงข้อมูลเพื่อให้อยู่ในหน่วยเดียวกันกับเครื่องมือ และเพิ่มข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ และข้อมูล K_{oc} , DT_{50} , LC_{50} , EC_{50} และ ErC_{50} จากแหล่งอ้างอิง การประเมินความเสี่ยงการใช้สารผสม ให้ทำการประเมินความเสี่ยงแยกกัน (individual) เนื่องจากมีค่า toxicity endpoint ที่แตกต่างกัน ดังนี้

Substance: Herbicide compound B 35% W/V EC	
1. Site parameters	
T_{close} (d) (time of closure of field)	110
2. Use practices	
Dose (g/ha) (application rate of product)	656.25
BBCH stage ($f_{interception}$)	BBCH 00-09 (.0)
f_{drift} (fraction drift to adjacent water body)	Ground spray (0.0277)
3. Substance Properties (U.S. EPA, 2025: PPDB, 2025a)	
K_{oc} (dm ³ /kg)	724
$DT_{50PaddyWater, total}$ (d) in flooded paddy system	11.5
$DT_{50SurfaceWater, total}$ (d) in sediment/water system	11.5
4. Toxicity endpoints (PPDB, 2025a)	
LC_{50} (mg/L): acute fish	0.31
EC_{50} (mg/L): acute daphnia	2.40
ErC_{50} (mg/L): algae growth	0.20



นำข้อมูลที่ได้มารอกลงในเครื่องมือการคำนวณ

INPUT	
01	Site parameters
02	Use practices
03	Substance Properties
04	Toxicity endpoints

Substance : Herbicide compound B 35% W/V EC	
INPUT: Site parameters	
Soil texture	clayey
depth _{paddyWater} (m) (water level in field)	0.1
depth _{surfaceWaterBody} (m) (depth of surface water body)	2
depth _{paddySoil} (m) (depth of soil below paddy water)	0.0625
depth _{sediment} (m) (depth of sediment below surface water body)	0.0125
OC _{paddySoil} (%) (organic carbon in paddy soil)	0.5
BD _{paddySoil} (kg/dm ³) (soil bulk density)	1.42
OC (%) (organic carbon in sediment)	0.5
BD _{sediment} (kg/dm ³) (sediment bulk density)	1.42
T _{close} (d) (time of closure of field)	110
f _{dilution} (dilution factor)	10
K _{dPaddySoil} (dm ³ /kg) (sorption coefficient of paddy soil)	3.62
F _{sorbedPaddySoil} (-) (fraction partitioning to paddy soil)	0.762625363
K _{dSediment} (dm ³ /kg) (sorption coefficient of sediment)	3.62
F _{sorbedSediment} (-) (fraction partitioning to sediment)	0.031127453
INPUT: Use practices	
Dose (g/ha) (application rate of product)	656.25
BBCH stage (f _{interception})	BBCH 00-09 (.0)
f _{drift} (fraction drift to adjacent water body)	Ground spray (0.0277)
f _{dep} (fraction of dose deposited to paddy field)	1
INPUT: Substance Properties	
K _{oc} (dm ³ /kg)	724
DT50 _{paddyWater, total} (d) in flooded paddy system	11.5
DT50 _{surfaceWater, total} (d) in sediment/water system	11.5
INPUT: Toxicity endpoints	
LC50 (mg/L) Acute fish	0.310
Acute fish uncertainty factor	10
EC50 (mg/L) Acute daphnia	2.400
Acute daphnia uncertainty factor	10
ErC50 (mg/L) Algal growth	0.200
Algal growth uncertainty factor	1

Input Tier 1c	Results PECsw	Graphs	+
---------------	---------------	--------	---



คลิกที่ Results PECsw



OUTPUT

ค่า PECsw

ค่า RQ

EXPOSURE ASSESSMENT	
	PECs
RESULTS: Step 1a	
PEC _{Crashy river} (µg/L)	866.250
PEC _{Crashy river water} (µg/L)	0.020
RESULTS: Step 1b	
PEC _{Crashy river} (T _{Crashy}) (µg/L)	0.006
PEC _{Crashy river water} (T _{Crashy}) (µg/L)	0.001
RESULTS: Step 1c	
PEC _{Crashy river} (T _{Crashy}) (µg/L)	0.006
PEC _{Crashy river water} (T _{Crashy}) (µg/L)	0.001
PEC _{Surface water} (T _{Crashy}) (µg/L)	0.020

AQUATIC RISK ASSESSMENT	
	RQ(PEC) RQ(TWA)
Step 1a	
RQ Acute fish	1.951
RQ Acute Daphnia	0.252
RQ Algal growth	0.302
Step 1b	
RQ Acute fish	0.0026
RQ Acute Daphnia	0.0003
RQ Algal growth	0.0004
Step 1c	
RQ Acute fish	0.0006
RQ Acute Daphnia	0.0001
RQ Algal growth	0.0001

PEC: Predicted Environmental Concentration
RQ: Risk Quotient
PNEC: Predicted No Effect Concentration

with T=4 for acute fish, T=2 for acute daphnia, and T=3 for algae

For more information see presentation: Hager (2023)

PEC _{sw} after opening of paddy field		
Time after opening (days)	PEC _{sw} (t)	TWA _{sw} (t)
0	0.020	0.020
1	0.019	0.019
2	0.018	0.019
3	0.016	0.018
4	0.016	0.018
7	0.013	0.016
9	0.011	0.015
14	0.008	0.013
21	0.006	0.011
28	0.004	0.010
42	0.002	0.007
50	0.001	0.006
100	0.000	0.003

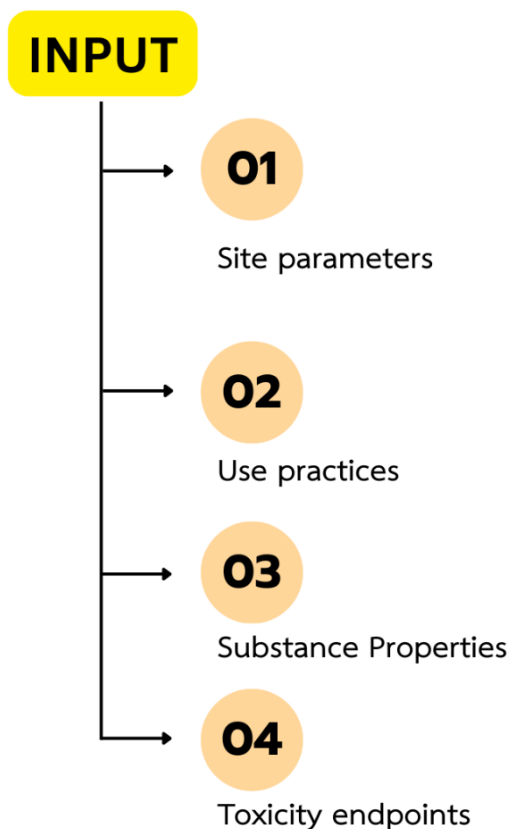
Time (days)	PEC _{sw} (t) (µg/L)	TWA _{sw} (t) (µg/L)
0	0.020	0.020
1	0.019	0.019
2	0.018	0.019
3	0.016	0.018
4	0.016	0.018
7	0.013	0.016
9	0.011	0.015
14	0.008	0.013
21	0.006	0.011
28	0.004	0.010
42	0.002	0.007
50	0.001	0.006
100	0.000	0.003

Risk is acceptable ($RQ \leq 1$)

ภาพที่ 3.3 ผลการประเมินความเสี่ยงการใช้ Herbicide compound B 35% W/V EC ในนาข้าวต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำด้วย MED-Rice tool อยู่ในระดับยอมรับได้

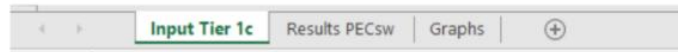
Substance: Herbicide compound C 35% W/V EC	
1. Site parameters	
T_{close} (d) (time of closure of field)	110
2. Use practices	
Dose (g/ha) (application rate of product)	656.25
BBCH stage ($f_{interception}$)	BBCH 00-09 (.0)
f_{drift} (fraction drift to adjacent water body)	Ground spray (0.0277)
3. Substance Properties (U.S. EPA, 2006)	
K_{oc} (dm ³ /kg)	306
$DT_{50PaddyWater, total}$ (d) in flooded paddy system	3
$DT_{50SurfaceWater, total}$ (d) in sediment/water system	3
4. Toxicity endpoints (U.S. EPA, 2006)	
LC_{50} (mg/L): acute fish	2.30
EC_{50} (mg/L): acute daphnia	1.20
ErC_{50} (mg/L): algae growth	0.11

นำข้อมูลที่ได้มารอกลงในเครื่องมือการคำนวณ



Substance : Herbicide compound C 35% W/V EC	
INPUT: Site parameters	
Soil texture	clayey
depthPaddyWater (m) (water level in field)	0.1
depthSurfaceWaterBody (m) (depth of surface water body)	2
depthPaddySoil (m) (depth of soil below paddy water)	0.0625
depthSediment (m) (depth of sediment below surface water body)	0.0125
OC _{PaddySoil} (%) (organic carbon in paddy soil)	0.5
BD _{PaddySoil} (kg/dm ³) (soil bulk density)	1.42
OC (%) (organic carbon in sediment)	0.5
BD _{Sediment} (kg/dm ³) (sediment bulk density)	1.42
T_{close} (d) (time of closure of field)	110
$f_{dilution}$ (dilution factor)	10
K_d _{PaddySoil} (dm ³ /kg) (sorption coefficient of paddy soil)	1.53
f_{sorbed} _{PaddySoil} (-) (fraction partitioning to paddy soil)	0.575889307
K_d _{Sediment} (dm ³ /kg) (sorption coefficient of sediment)	1.53
f_{sorbed} _{Sediment} (-) (fraction partitioning to sediment)	0.013396838
INPUT: Use practices	
Dose (g/ha) (application rate of product)	656.25
BBCH stage ($f_{interception}$)	BBCH 00-09 (.0)
f_{drift} (fraction drift to adjacent water body)	Ground spray (0.0277)
f_{dep} (fraction of dose deposited to paddy field)	1
INPUT: Substance Properties	
K_{oc} (dm ³ /kg)	306
$DT_{50PaddyWater, total}$ (d) in flooded paddy system	3
$DT_{50SurfaceWater, total}$ (d) in sediment/water system	3
INPUT: Toxicity endpoints	
LC_{50} (mg/L) Acute fish	2.300
Acute fish uncertainty factor	10
EC_{50} (mg/L) Acute daphnia	1.200
Acute daphnia uncertainty factor	10
ErC_{50} (mg/L) Algal growth	0.110
Algal growth uncertainty factor	1





คลิกที่ Results PECsw

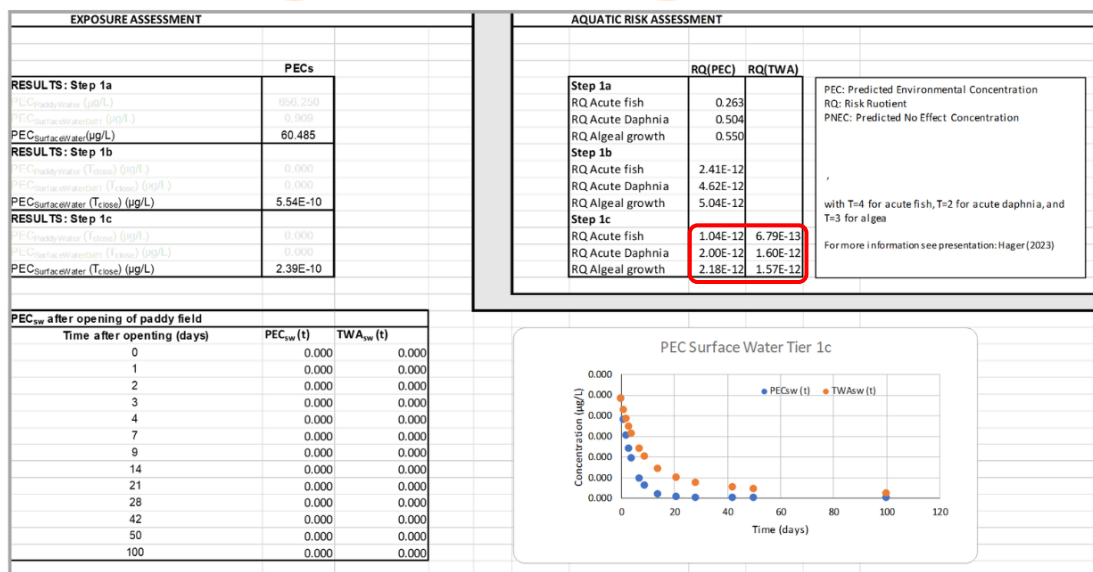
OUTPUT

01

ค่า PECsw

02

ค่า RQ



Risk is acceptable ($RQ \leq 1$)

ภาพที่ 3.4 ผลการประเมินความเสี่ยงการใช้ Herbicide compound C 35% W/V EC ในนาข้าวต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำด้วย MED-Rice tool อยู่ในระดับยอมรับได้



Case Study 3: Fungicide compound D + compound E 15% + 15% W/V EC

พารามิเตอร์สำหรับการประเมินความเสี่ยงโดยใช้ MED-Rice

ทำการแปลงข้อมูลเพื่อให้อยู่ในหน่วยเดียวกันกับเครื่องมือ และเพิ่มข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ และข้อมูล K_{oc} , DT_{50} , LC_{50} , EC_{50} และ ErC_{50} จากแหล่งอ้างอิง การประเมินความเสี่ยงการใช้สารผสม ให้ทำการประเมินความเสี่ยงแยกกัน เนื่องจากมีค่า toxicity endpoint ที่แตกต่างกัน ดังนี้

Substance : Fungicide compound D 15% W/V EC	
1. Site parameters	
T_{close} (d) (time of closure of field)	25
2. Use practices	
Dose (g/ha) (application rate of product)	46.875
BBCH stage ($f_{interception}$)	BBCH 40-99 (0.9)
f_{drift} (fraction drift to adjacent water body)	Ground spray (0.0277)
3. Substance Properties (EFSA, 2011)	
K_{oc} (dm ³ /kg)	3759.4
$DT_{50PaddyWater,total}$ (d) in flooded paddy system	315.5
$DT_{50SurfaceWater,total}$ (d) in sediment/water system	315.5
4. Toxicity endpoints (EFSA, 2011: PPDB, 2025b)	
LC_{50} (mg/L): acute fish	1.100
EC_{50} (mg/L): acute daphnia	0.770
ErC_{50} (mg/L): algae growth	0.032



นำข้อมูลที่ได้มารอกลงในเครื่องมือการคำนวณ

INPUT	
01	Site parameters
02	Use practices
03	Substance Properties
04	Toxicity endpoints

Substance : Fungicide compound D 15% W/V EC	
INPUT: Site parameters	
Soil texture	clayey
depth _{PaddyWater} (m) (water level in field)	0.1
depth _{SurfaceWaterBody} (m) (depth of surface water body)	2
depth _{PaddySoil} (m) (depth of soil below paddy water)	0.0625
depth _{Sediment} (m) (depth of sediment below surface water body)	0.0125
OC _{PaddySoil} (%) (organic carbon in paddy soil)	0.5
BD _{PaddySoil} (kg/dm ³) (soil bulk density)	1.42
OC (%) (organic carbon in sediment)	0.5
BD _{sediment} (kg/dm ³) (sediment bulk density)	1.42
T _{close} (d) (time of closure of field)	25
fact _{dilution} (dilution factor)	10
Kd _{PaddySoil} (dm ³ /kg) (sorption coefficient of paddy soil)	18.797
F _{sorbedPaddySoil} (-) (fraction partitioning to paddy soil)	0.943446391
Kd _{Sediment} (dm ³ /kg) (sorption coefficient of sediment)	18.797
F _{sorbedSediment} (-) (fraction partitioning to sediment)	0.14297226
INPUT: Use practices	
Dose (g/ha) (application rate of product)	46.875
BBCH stage (f _{interception})	BBCH 40-99 (0.9)
f _{drift} (fraction drift to adjacent water body)	Ground spray (0.0277)
f _{dep} (fraction of dose deposited to paddy field)	0.1
INPUT: Substance Properties	
Koc (dm ³ /kg)	3759.4
DT50 _{PaddyWater total} (d) in flooded paddy system	315.5
DT50 _{SurfaceWater total} (d) in sediment/water system	315.5
INPUT: Toxicity endpoints	
LC50 (mg/L) Acute fish	1.100
Acute fish uncertainty factor	10
EC50 (mg/L) Acute daphnia	0.770
Acute daphnia uncertainty factor	10
ErC50 (mg/L) Algeal growth	0.032
Algeal growth uncertainty factor	1

Input Tier 1c	Results PECsw	Graphs	+
---------------	---------------	--------	---

คลิกที่ Results PECsw



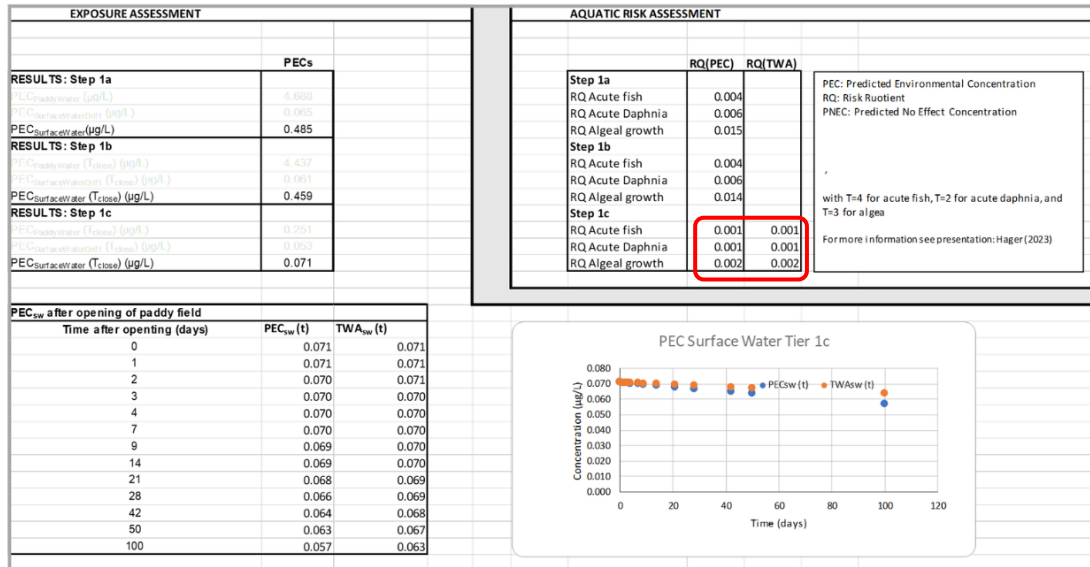
OUTPUT

01

ค่า PEC_{sw}

02

ค่า RQ



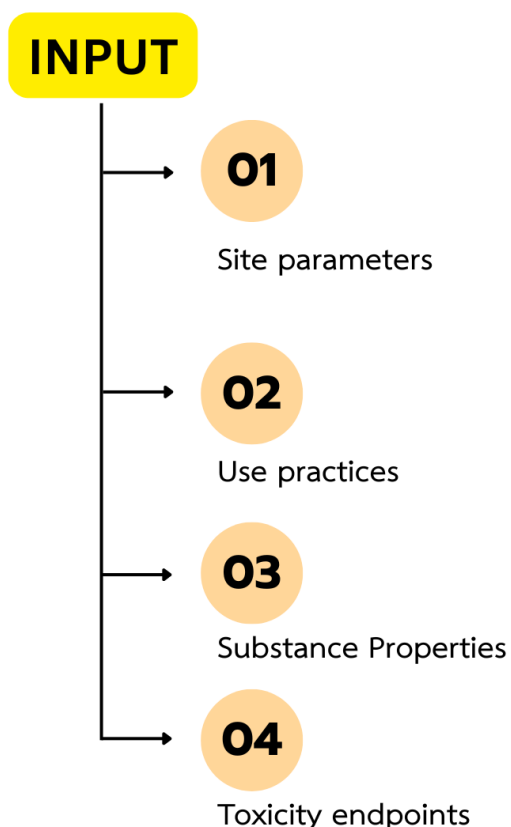
Risk is acceptable ($RQ \leq 1$)

ภาพที่ 3.5 ผลการประเมินความเสี่ยงการใช้ Fungicide compound D 15% W/V EC ในนาข้าวต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำด้วย MED-Rice tool อยู่ในระดับยอมรับได้



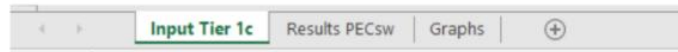
Substance: Fungicide compound E 15% W/V EC	
1. Site parameters	
T_{close} (d) (time of closure of field)	25
2. Use practices	
Dose (g/ha) (application rate of product)	46.875
BBCH stage ($f_{interception}$)	BBCH 40-99 (0.9)
f_{drift} (fraction drift to adjacent water body)	Ground spray (0.0277)
3. Substance Properties (EFSA, 2017)	
K_{oc} (dm ³ /kg)	835
$DT_{50PaddyWater, total}$ (d) in flooded paddy system	555
$DT_{50SurfaceWater, total}$ (d) in sediment/water system	555
4. Toxicity endpoints (EFSA, 2017)	
LC_{50} (mg/L): acute fish	4.3
EC_{50} (mg/L): acute daphnia	10.2
ErC_{50} (mg/L): algae growth	9.0

นำข้อมูลที่ได้มารอกลงในเครื่องมือการคำนวณ



Substance : Fungicide compound E 15% W/V EC	
INPUT: Site parameters	
Soil texture	clayey
depth _{Paddy Water} (m) (water level in field)	0.1
depth _{SurfaceWaterBody} (m) (depth of surface water body)	2
depth _{Paddy Soil} (m) (depth of soil below paddy water)	0.0625
depth _{Sediment} (m) (depth of sediment below surface water body)	0.0125
OC _{Paddy Soil} (%) (organic carbon in paddy soil)	0.5
BD _{Paddy Soil} (kg/dm ³) (soil bulk density)	1.42
OC (%) (organic carbon in sediment)	0.5
BD _{sediment} (kg/dm ³) (sediment bulk density)	1.42
T_{close} (d) (time of closure of field)	25
$f_{dilution}$ (dilution factor)	10
$Kd_{Paddy Soil}$ (dm ³ /kg) (sorption coefficient of paddy soil)	4.175
$F_{sorbedPaddy Soil}$ (-) (fraction partitioning to paddy soil)	0.787474264
$Kd_{Sediment}$ (dm ³ /kg) (sorption coefficient of sediment)	4.175
$F_{sorbedSediment}$ (-) (fraction partitioning to sediment)	0.035729245
INPUT: Use practices	
Dose (g/ha) (application rate of product)	46.875
BBCH stage ($f_{interception}$)	BBCH 40-99 (0.9)
f_{drift} (fraction drift to adjacent water body)	Ground spray (0.0277)
f_{dep} (fraction of dose deposited to paddy field)	0.1
INPUT: Substance Properties	
K_{oc} (dm ³ /kg)	835
$DT_{50PaddyWater, total}$ (d) in flooded paddy system	555
$DT_{50SurfaceWater, total}$ (d) in sediment/water system	555
INPUT: Toxicity endpoints	
LC_{50} (mg/L) Acute fish	4.3
Acute fish uncertainty factor	10
EC_{50} (mg/L) Acute daphnia	10.2
Acute daphnia uncertainty factor	10
ErC_{50} (mg/L) Algal growth	9.0
Algal growth uncertainty factor	1





คลิกที่ Results PECsw

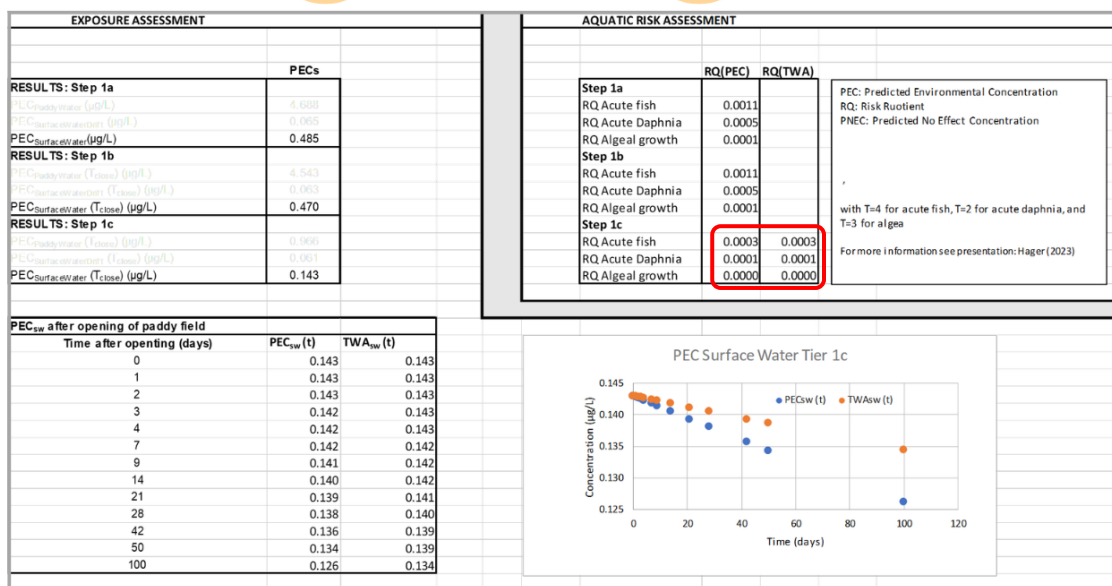
OUTPUT

01

ค่า PECsw

02

ค่า RQ



Risk is acceptable ($RQ \leq 1$)

ภาพที่ 3.6 ผลการประเมินความเสี่ยงการใช้ Fungicide compound E 15% W/V EC ในนาข้าว
ต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำด้วย MED-Rice tool อยู่ในระดับยอมรับได้



บทที่ 4 การปรับปรุงรายละเอียดความเสี่ยง มาตรการลดและจัดการความเสี่ยง

เมื่อพบว่าการประเมินความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำมีค่า $RQ > 1$ ซึ่งถือว่าไม่สามารถยอมรับได้ ผู้ประเมินสามารถทำการปรับปรุงรายละเอียดข้อมูล (refinement) เพื่อเพิ่มความแม่นยำของผลการประเมิน หรือจัดทำมาตรการลด/บรรเทา (mitigation) เพื่อลดความเสี่ยงลง ในบทนี้จะกล่าวถึงมาตรการลดความเสี่ยง

4.1 มาตรการจำกัดการแพร่กระจายของสารสู่แหล่งน้ำผิวดินและลดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

การปรับปรุงรายละเอียดความเสี่ยง (risk refinement) เป็นการเพิ่มความแม่นยำของการประเมินความเสี่ยง โดยการเลือกใช้ข้อมูลและวิธีที่มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น กระบวนการนี้จะช่วยให้สามารถตัดสินใจเกี่ยวกับการคุ้มครองและการจัดการสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยตัวอย่างของการปรับปรุงรายละเอียดความเสี่ยง ได้แก่

4.1.1 การใช้ค่าเรขาคณิต (Use of geometric values)

ค่าเรขาคณิต เป็นค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของชุดข้อมูลความเป็นพิษจากค่ากลางของข้อมูลชุดหนึ่ง คำนวณโดยการตัดค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ (outliers) เมื่อเทียบกับจุดสิ้นสุดที่ต่ำที่สุดหรือกรณีที่แย่ที่สุด ทั้งนี้ การคำนวณค่าเฉลี่ยเรขาคณิตสามารถพิจารณาได้จากชุดข้อมูลหลายชุดที่ได้จากสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน หรือชุดข้อมูลจากสิ่งมีชีวิตต่างชนิดกัน

ตัวอย่าง

ในการประเมินความเสี่ยงของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ การเลือกใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต ช่วยให้ข้อมูลด้านความเป็นพิษที่มีความสมมูลมากกว่าการใช้ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สังเกตพบ ผลกระทบ (Lowest observed effect concentration: LOEC) เพียงอย่างเดียว เช่น หากค่า LC_{50} สำหรับ สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งที่ตรวจพบคือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร แต่ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตจากการศึกษาหลายชุด ข้อมูล เท่ากับ 25 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่านี้จะสะท้อนถึงการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศได้ดีกว่า

4.1.2 การลดปัจจัยความไม่แน่นอนของข้อมูล (Reduced uncertainty factors)

การนำค่าปัจจัยความไม่แน่นอนของข้อมูลมาใช้เพื่อพิจารณาความผันแปรของข้อมูลและทดแทนการที่ไม่มีข้อมูล โดยทั่วไปกำหนดค่ามาตรฐานเริ่มต้นไว้ที่ 10 อย่างไรก็ตาม หากมีข้อมูลที่ดีกว่าและมีความน่าเชื่อถือเพียงพอ ค่าปัจจัยนี้สามารถปรับลดลงได้ตามความเหมาะสม

ตัวอย่าง

ในสถานการณ์ที่มีข้อมูลความเป็นพิษเฉียบพลันของสารเคมีอย่างเพียงพอและครบถ้วน สามารถปรับลดปัจจัยความไม่แน่นอนของข้อมูลลงเหลือ 3 แทนการใช้ค่ามาตรฐานที่ 10 ได้ เนื่องจากข้อมูลดังกล่าว มีความน่าเชื่อถือ และความผันแปรของการตอบสนองระหว่างสายพันธุ์ที่ลดลง จะทำให้การประมาณการ ความเสี่ยงที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น



4.2 มาตรการลดความเสี่ยง (Risk mitigations)

4.2.1 ลดอัตราการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช (Reduce the pesticide application rate)

สามารถทำการลดอัตราการใช้สารเพื่อให้ความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยยังคงประสิทธิภาพในการควบคุมศัตรูพืช อัตราการใช้ควรลดลงโดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพของสารลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยทั่วไปหากอัตราการใช้ที่แนะนำมาจากการทดสอบประสิทธิภาพหลายครั้งเพื่อหาขนาดต่ำสุดที่มีประสิทธิภาพ (minimum effective dose) จะมีช่องทางให้ลดได้เพียงเล็กน้อยหรืออาจไม่มีเลย แต่ถ้าอัตราที่แนะนำมาจากการทดสอบเพียงครั้งเดียวเพื่อยืนยันประสิทธิภาพ ก็อาจมีโอกาสดลดอัตราการใช้ได้ หลักการสำคัญคือ ควรเลือกอัตราที่ลดลงในขณะที่ยังสามารถควบคุมศัตรูพืช วัชพืช หรือโรคพืชได้อย่างเพียงพอเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีอัตราที่ลดลงอาจทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมศัตรูพืชลดลง กล่าวคือ อาจได้ผลน้อยลงภายใต้สภาพการระบาดรุนแรงหรือสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวย

4.2.2 ลดความถี่ในการใช้ หรือเพิ่มระยะเวลาระหว่างการใช้แต่ละครั้ง (Reduce frequency of use or increase interval between applications)

สามารถทำการลดความถี่ในการใช้สารเพื่อให้ความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยยังคงประสิทธิภาพในการควบคุมศัตรูพืชได้ หรืออาจเพิ่มระยะเวลาห่างระหว่างการใช้แต่ละครั้ง ซึ่งการลดจำนวนครั้งของการใช้สารมักจะลดความเสี่ยงได้ในสัดส่วนใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม บางครั้งที่ใช้สารทดแทนสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีความเสี่ยงสูงด้วยสารที่มีความเสี่ยงต่ำ ควรนำความเสี่ยงที่เหลือจากการใช้สารความเสี่ยงต่ำมาพิจารณาด้วยการเพิ่มช่วงห่างระหว่างการใช้จะทำให้มีระยะเวลาที่สารพิษตกค้างในพืชหรือสิ่งแวดล้อมน้อยลง หรือไม่มีเลย ความสามารถในการลดความเสี่ยงขึ้นอยู่กับอัตราการสลายตัวของสารเป็นสำคัญ หลักการสำคัญคือ ควรเลือกความถี่การใช้สารที่ลดลงโดยยังคงควบคุมศัตรูพืช วัชพืช หรือโรคพืชได้อย่างเพียงพอเพื่อไม่ให้อาการลดลง

4.2.3 ลดการฟุ้งกระจายและการไหลบ่าด้วยการปรับความเหมาะสมต่อการใช้งาน (Reduce drift and runoff via application optimization)

- จำกัดการใช้ในรูปแบบสูตรที่ทำให้การฟุ้งกระจาย การไหลบ่า หรือการซึมผ่านน้อยลง เช่น สูตรออกฤทธิ์ช้า (slow-release formulations) การเคลือบเมล็ด (seed coatings) หรือแบบเม็ด (granules)
- จำกัดการใช้ให้อยู่ในรูปแบบที่มีการปลดปล่อยสารน้อยลงหรือไม่มีเลย เช่น ในโรงเรือน (glasshouses) ในภาชนะเพาะเลี้ยง การวางเหยื่อ การจุ่ม หรือการเคลือบเมล็ด
- จำกัดช่วงเวลาการใช้ในรอบปี ให้ใช้ในช่วงที่การซึมผ่าน การไหลบ่า หรือการระบายน้ำมีความสำคัญน้อย เช่น ช่วงที่มีฝนตกน้อยและหรือมีพืชคลุมดินเพียงพอ
- เว้นระยะเขตกันชน (buffer zone) ระหว่างพื้นที่ใช้สารและแหล่งน้ำผิวดิน เพื่อช่วยลดการฟุ้งกระจาย โดยที่เขตกันชนนี้ไม่ควรทำให้ผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ



- ใช้เทคนิคการลดการฟุ้งกระจาย (drift-reducing techniques) เช่น การใช้หัวฉีดแบบลดการฟุ้งกระจาย (reduced-drift spray nozzles) หรือแผ่นบังการฟุ้ง (spray deflectors)
- หัวฉีดลดการฟุ้งกระจาย: ในเครื่องพ่นหลายชนิด สามารถเปลี่ยนหัวฉีดมาตรฐานเป็นหัวฉีดพิเศษที่ทำให้หยดละอองมีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อลดการฟุ้งกระจาย ระดับการลดการฟุ้งกระจายขึ้นอยู่กับแรงดันการพ่น
- อุปกรณ์ลดการฟุ้งกระจายอื่น: เช่น การลดความสูงของบูมพ่น การใช้เครื่องพ่นที่มีระบบช่วยพ่นด้วยลม (air-assistance) หรือการใช้แผ่นบัง/แผ่นครอบ เช่น เครื่องพ่นแบบแถบหรือแบบอุโมงค์

4.3 การจัดการความเสี่ยง (Risk management)

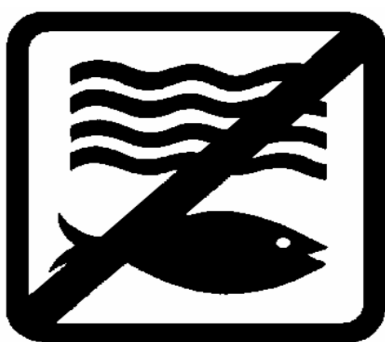
การจัดการความเสี่ยงที่มีความยืดหยุ่นและปรับเปลี่ยนได้ (flexible and adaptive risk management) ช่วยให้สามารถปรับเปลี่ยนมาตรการต่าง ๆ ได้ตามข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ชุดใหม่ ผลการสำรวจติดตามใหม่ ๆ และสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป

การจัดการความเสี่ยงที่มีประสิทธิภาพต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำจากสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการปกป้องระบบนิเวศทางน้ำควบคู่ไปกับการสนับสนุนภาคเกษตรกรรม ซึ่งสามารถปฏิบัติได้โดยการบูรณาการระหว่างการประเมินความเสี่ยง โครงสร้างทางกฎหมาย มาตรการลดผลกระทบ และการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ทั้งนี้ จะช่วยให้สามารถบรรลุความสมดุลระหว่างผลผลิตทางการเกษตรและการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน



บทที่ 5 คำเตือน

การระบุคำเตือนพร้อมภาพไว้ในฉลาก เป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญเพื่อให้การใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชมีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม โดยในฉลากของผลิตภัณฑ์จะต้องแสดงภาพและคำเตือน เพื่อสื่อสารถึงความเป็นอันตรายต่อปลาและสิ่งแวดล้อม (ภาพที่ 5.1) จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชด้วยความระมัดระวัง หลีกเลี่ยงการระบายน้ำที่ปนเปื้อนสารลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติที่เป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต



ภาพที่ 5.1 เป็นอันตรายต่อปลา

ที่มา: FAO (2015)

ตัวอย่างคำเตือนบนฉลาก (มาตรการบรรเทาความเสี่ยงจากการประเมินความเสี่ยง)

1. ห้ามใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชใกล้พื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนจากการระบายลงสู่แหล่งน้ำใกล้เคียง เช่น บ่อน้ำ และแม่น้ำ เป็นต้น
2. ห้ามทิ้งสารหรือบรรจุภัณฑ์ของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชลงในแหล่งน้ำ
3. ห้ามพ่นสารในขณะที่มีลมพัดแรง
4. ห้ามพ่นสารในระยะเวลานั้น ๆ (น้อยกว่า 24 ชั่วโมง) ก่อนที่จะมีฝนตกหนัก



เอกสารอ้างอิง

- สุภรดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง เสาวนิตย์ โพธิ์พันธุ์ศักดิ์ ศรีจันทร์จรูญ ศรีจันทร์หา และพฤทธิชาติ ปุณณวัฒน์. 2563. เอกสารวิชาการ คำแนะนำการป้องกันแมลง-สัตว์ศัตรูพืช อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย จากงานวิจัย. กลุ่มบริหารศัตรูพืช/กลุ่มกีฏและสัตววิทยา สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร. 230 หน้า.
- European Chemicals Agency. 2008. Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment. Chapter R.10: Characterization of dose [concentration]-response for environment. Available at: https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/information_requirements_r10_en.pdf. Assessed: July 15, 2025.
- European Chemicals Agency). 2017. Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R.7b: Degradation. Helsinki: ECHA.
- European Chemicals Agency. 2017. Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R.10: Characterization of dose [concentration]-response for environment. Helsinki: ECHA.
- European Chemicals Agency. 2017. Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R.16: Environmental exposure assessment. Helsinki: ECHA.
- European Environment Agency. 2024. Aquatic environment. Available at: <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/aquatic-environment>. Assessed: July 15, 2025.
- European Food Safety Authority. 2006. Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance fipronil. Available at: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2006.65r>. Assessed: July 22, 2025.
- European Food Safety Authority. 2011. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance difenoconazole. Available at: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2011.1967>. Assessed: July 22, 2025.
- European Food Safety Authority. 2013. Guidance on tiered risk assessment for plant protection products for aquatic organisms in edge-of-field surface waters. EFSA Journal, 11(7), 3290.
- European Food Safety Authority. 2017. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance propiconazole. Available at: https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/action/downloadSupplement?doi=10.2903%2Fj.efsa.2017.4887&file=efs24887-sup-0001-Appendix_A.pdf. Assessed: July 22, 2025.



- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. International Code of Conduct on Pesticide Management Guidelines on Good Labelling Practice for Pesticides. Available at: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/195650/9789241509688_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Assessed: August 8, 2025.
- Hoffman, A. J., & Sappington, K. G. 2011. Using Geometric Mean Toxicity Values to Improve Ecological Risk Assessments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(3), 635-641. doi:10.1002/etc.362.
- Japan International Research Center for Agricultural Sciences. 2020. Manual for using the MED-RICE model: A tool for assessing the fate of pesticides in paddy fields in Southeast Asia. Tsukuba, Japan: JIRCAS. Available at: https://www.jircas.go.jp/en/publication/research_results/2020_b09. Assessed: July 15, 2025.
- Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues. 2009. FAO Specifications and Evaluations for Agricultural Pesticides: fipronil. Available at: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/29ceca4b-e729-4c54-b4db-655fcb0335c7/content>. Assessed: July 22, 2025.
- Lefrancq, M. 2014. Transport and attenuation of pesticides in runoff from agricultural headwater catchments: From field characterization to modelling [Doctoral dissertation, University of Strasbourg]. ResearchGate. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/281046897>. Assessed: July 22, 2025.
- MED-Rice. 2003. Guidance documents for environmental risk assessment of active substances used in rice in the EU for Annex I inclusion. Sanco/1090/2000 – rev.1, Brussels, June 2003, 108 pp
- Organization for Economic Co-operation and Development. 2000. Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 106: Adsorption–Desorption Using a Batch Equilibrium Method. Organization for Economic Co-operation and Development.
- Organization for Economic Co-operation and Development. 2002. Guidance Document on the Use of the Harmonized System for the Classification of Chemicals which are Hazardous for the Aquatic Environment (OECD Series on Testing and Assessment No. 27). Organization for Economic Co-operation and Development.
- Organization for Economic Co-operation and Development. 2004. Test No. 202: Daphnia sp. Acute Immobilization Test. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264069947-en>.



- Organization for Economic Co-operation and Development. 2006. OECD guidelines for the testing of chemicals. Available at: <https://www.oecd.org/env/ehs/testing/oecdguidelinesforthetestingofchemicals.html>. Assessed: July 15, 2025.
- Organization for Economic Co-operation and Development. 2007. Glossary of statistical terms. Available at: <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=131>. Assessed: July 15, 2025.
- Organization for Economic Co-operation and Development. 2011. Test No. 201: Freshwater Alga and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. OECD Publishing. Available at: <https://doi.org/10.1787/9789264069923-en>. Assessed: July 15, 2025.
- Organization for Economic Co-operation and Development. 2019. Test No. 203: Fish, acute toxicity test. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. OECD Publishing. Available at: <https://doi.org/10.1787/9789264069961-en>. Assessed: July 15, 2025.
- Pesticide Properties DataBase. 2025a. Butachlor. Available at: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/101.htm>. Assessed: July 22, 2025.
- Pesticide Properties DataBase. 2025b. Difenconazole. Available at: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/230.htm>. Assessed: July 22, 2025.
- Sparks, D. L. (2003). Environmental soil chemistry. San Diego, CA: Academic Press.
- Suter, G. W. 2006. Ecological Risk Assessment. 2nd ed. CRC Press. ISBN: 978-1566706686.
- Tuda, K., et al. 2014. Development of a pesticide fate and exposure model for rice paddies in Southeast Asia (MED-RICE). Environmental Modelling & Software, 62, 260–273. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.09.003>. Assessed: July 15, 2025.
- United States Environmental Protection Agency. 1992. Guidelines for exposure assessment. EPA/600/Z-92/001. Washington, DC: Office of Health and Environmental Assessment.
- United States Environmental Protection Agency. 1998. Guidelines for ecological risk assessment (EPA/630/R-95/002F). Washington, DC: Risk Assessment Forum. Available at: <https://www.epa.gov/risk/guidance-ecological-risk-assessment>. Assessed: July 15, 2025.
- United States Environmental Protection Agency. 1999. Understanding variation in partition coefficient, K_d, values: Volume I. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- United States Environmental Protection Agency. 2003. Water quality standards: Establishing mixing zones. EPA 823-B-96-005. Washington, DC: Office of Water.
- United States Environmental Protection Agency. 2004. Methods for derivation of aquatic life criteria. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.



- United States Environmental Protection Agency. 2006a. Environmental fate and transport for pesticides: Science policy handbook. Washington, DC: Office of Pesticide Programs.
- United States Environmental Protection Agency. 2006b. Amendment to Reregistration Eligibility Decision (RED) for Propanil (March 2006) and the Propanil RED (September 2003) Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=a7a29fe394687b8f15b2101b1d51bc9c28d02923>. Assessed: July 22, 2025.
- United States Environmental Protection Agency. 2025. Butachlor. Available at: <https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical/env-fate transport/DTXSID3034402>. Assessed: July 15, 2025.
- World Health Organization (WHO). (2009). Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food (Environmental Health Criteria 240). Geneva, Switzerland: World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241572408>. Assessed: July 15, 2025.
- World Health Organization (WHO). (2009). Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food (EHC 240). Geneva, Switzerland: WHO Press.





คู่มือการประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ